



IICA



Universidad Autónoma
del Estado de México



RED Gestión Territorial
del Desarrollo Rural



Café *mexiquense*

*Producción, mercado
y política pública*

Francisco Herrera Tapia • Martín Rubí Arriaga • Celso Rodrigo Rivera Rojo

Coordinadores

Café mexiquense

Producción, mercado y política pública

**Francisco Herrera Tapia
Martín Rubí Arriaga
Celso Rodrigo Rivera Rojo**
Coordinadores

Contenido

Prólogo	7
Introducción	9
Parte I. Situación mundial, nacional y estatal de la producción de café	
Capítulo 1. Panorama de la cafeticultura en el contexto internacional, nacional y en el Estado de México	21
<i>Gabriel Leguizamo Sotelo, Martín Rubí Arriaga, Martha Lidya Salgado Siclán, José Francisco Ramírez Dávila</i>	
Capítulo 2. La cafeticultura del Estado de México en una perspectiva de largo plazo	46
<i>J. Domingo Robledo Martínez, Salvador Díaz Cárdenas, Lucila Martínez Munguía, M. Susana Córdova Santamaría Munguía</i>	
Capítulo 3. Impulso a la producción de café en territorios mexiquenses	70
<i>María Viridiana Sosa Márquez, Norma Baca Tavira, Francisco Herrera Tapia</i>	
Capítulo 4. La cadena productiva del cultivo de café en el Estado de México	92
<i>Martha Denisse Hurtado Nader, José Francisco Ramírez Dávila, María Dolores Mariezcurrena Berasain, Dulce Karen Figueroa Figueroa</i>	
Parte II. Temas avanzados sobre la heterogeneidad productiva del café mexiquense	
Capítulo 5. Brechas productivas de la producción mexiquense del café tostado y molido en el contexto nacional, 2008-2018	117
<i>Wendy Ovando Aldana, María del Carmen Salgado Vega, Adriana Becerril Gutiérrez</i>	
Capítulo 6. Mercado de café del sur del Estado de México. Una aproximación desde la teoría de costos de transacción y la estrategia empresarial	138
<i>Celso Rodrigo Rivera Rojo, Rosa María Nava Rogel, Renato Francisco González Sánchez</i>	

Capítulo 7. La producción y comercialización del café en el sur del Estado de México	160
--	-----

Felipe de Jesús González Razo, Samuel Rebollar Rebollar, José Luis Morales Hernández, Gabriela Rodríguez Licea, Juvencio Hernández Martínez

Parte III. Éxito cafetalero en el sur del Estado de México

Capítulo 8. De la producción marginal a la Taza de Excelencia. El café del Estado de México	175
---	-----

Lucila Martínez Munguía, Salvador Díaz Cárdenas, J. Domingo Robledo Martínez

Capítulo 9. Federico Barrueta: el Café de la Ilusión. Historia de vida en una Taza de Excelencia	196
--	-----

Alberto Jorge Flores Marín

Parte IV. Retos agroecológicos y agroindustriales del café del Sur mexiquense

Capítulo 10. Impacto de la tecnología de fertilización en café (<i>Coffea arabica L.</i>). Sur del Estado de México	217
---	-----

José Luis Morales Hernández, Felipe de Jesús González Razo, Manuel Antonio Pérez Chávez

Capítulo 11. El arte del tostado y su relación con la calidad en el café (<i>Coffea arabica L.</i>) del Estado de México	235
--	-----

Omar Roberto Vargas Flores, Martín Rubí Arriaga, María Dolores Mariezcurrena Berasain, José Francisco Ramírez Dávila, Guillermo Asdrúbal Vargas Elías

Capítulo 12. La práctica de la fermentación en el café como diferenciador de la calidad en taza	248
---	-----

Lilian Montes de Oca Rosales, Martín Rubí Arriaga, Dolores Mariezcurrena Berasain, José Francisco Ramírez Dávila

Parte V. Problemas de gestión sanitaria
en la cafeticultura mexiquense

Capítulo 13. Comparación de la distribución espacial de Minador
de la Hoja (*Leucoptera Coffeella*) en cafetales
del Estado de México 265

*Alejandra Barrera-Rojas, José Francisco Ramírez Dávila, Martín Rubí Arriaga,
Delfina de Jesús Pérez López*

Capítulo 14. Comportamiento espacial de ojo de gallo
Mycena citricolor, en cafetales del municipio de Sultepec;
Estado de México 293

*Esther Pino Miranda, José Francisco Ramírez Dávila,
Rodolfo Serrato Cuevas, Jaime Mejía Carranza*

Capítulo 15. Comportamiento de las poblaciones de roya del café
(*Hemileia vastatrix Berkeley y Broome*) en parcelas
de Amatepec, Estado de México 329

*Aurelio Pérez Constantino, José Francisco Ramírez Dávila, Delfina de Jesús Pérez
López, Dulce Karen Figueroa Figueroa*

Capítulo 16. Estudio del comportamiento espacial de la enfermedad
Mancha de Hierro *Mycosphaerella Coffeicola* en cafetales
del municipio de Amatepec 361

*María Teresa Lugo Coyote, Martín Rubí Arriaga, José Francisco
Ramírez Dávila, Francisco Gutiérrez Rodríguez*

Prólogo

Diego Montenegro Ernst
Representante IICA México

La alianza entre la Universidad Autónoma del Estado de México, **UAEMéx** y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, **IICA**, con la Red para la Gestión Territorial del Desarrollo Rural Sustentable, **Red GTD México**, promueve el intercambio de conocimientos especializados y experiencias para la formulación de iniciativas de desarrollo y empoderamiento de los territorios, desde las cadenas de valor y los sistemas producto más representativos y generadores de empleo y riqueza. Esta alianza ha permitido el trabajo colaborativo y la articulación institucional en proyectos estratégicos e integrales, que vienen contribuyendo a los procesos de desarrollo sostenible de las comunidades.

El IICA, como organismo internacional especializado en agricultura y temas de desarrollo sustentable del Sistema Interamericano, cuya misión es estimular, promover y apoyar los esfuerzos de sus 34 Estados Miembros para lograr el desarrollo y el bienestar rural por medio de la cooperación técnica internacional de excelencia, apuesta a las buenas prácticas junto con las alianzas público – privadas y la cooperación internacional, para construir una estrategia de desarrollo sostenible de los territorios y de la vida rural. El instituto cumple con este propósito a través de sus capacidades técnicas instaladas en sus oficinas y de la red de especialistas nacionales e internacionales.

Con el propósito de fortalecer la producción cafetalera y la reactivación de los territorios rurales en el Estado de México, así como para dar un mayor impulso a las economías locales, resulta fundamental la creación de las condiciones necesarias para lograr acciones de impacto, a partir de la coordinación con diferentes actores estratégicos y, en permanente consulta y retroalimentación, con los principales actores productivos y de servicios de las zonas cafetaleras de la entidad y del país. Es en ese marco, la Oficina del IICA en México se siente honrada de contribuir a la publicación del presente libro, que representa una gran oportunidad para fortalecer emprendimientos de pequeños y medianos productores en cadenas de valor, como la cafecultura, que está en proceso de posicionamiento en territorios determinados.

Dentro de las diversas actividades agrícolas, la cafecultura destaca por alta representatividad de pequeños productores y por cadenas de valor débilmente integradas; y en muchos casos con escasas alternativas de comercialización. Cabe destacar que la producción y comercialización del aromático en la entidad, se caracteriza por tener bajos retornos económicos a los productores locales, quienes a su vez absorben la mayor parte del riesgo dentro de las cadenas de valor.

Del mismo modo, es importante promover el análisis de la cafecultura en los ámbitos local y regional tal y como lo hace la presente publicación, ya que es necesario comprender las complejas interrelaciones sociales y económicas que se despliegan alrededor del café para detectar adecuadamente las amenazas y aprovechar oportunidades para el beneficio de los productores y los mercados locales. Así, el libro “Café mexiquense. Producción, mercado y política pública” cumple con esta labor al articular conocimientos provenientes de diferentes disciplinas que dan como resultado un análisis multidimensional de la cadena de valor del café en el Estado de México, con el objetivo de promover una mejor comprensión de sus dinámicas, lo cual resulta útil para la generación de estrategias, políticas públicas y la toma de decisiones para los organismos públicos, productores, académicos y otros actores interesados.

Introducción

La historia mundial del café ha observado su transición partiendo de mercados tradicionales a la Bolsa de Valores del Café en Nueva York; del monopolio brasileño de finales de siglo XIX al surgimiento de nuevos competidores en el mundo como Vietnam, Indonesia, Colombia y Perú, entre otros.

Además, la producción de café ha atestiguado el proteccionismo provocado por las guerras mundiales, la cooperación internacional en busca de una agenda institucional que promoviera el libre mercado con el acuerdo de Bretton-Woods en 1944, así como la celebración de múltiples convenios internacionales en favor de la promoción de precios mínimos, inclusión de países productores, eliminación de condiciones de monopolio y la creación de la Organización Internacional del Café en 1963 (Rivera, 2021).

En la actualidad, el café es uno de los productos agrícolas de mayor importancia a nivel mundial. Hasta 2014, su producción se llevaba a cabo en 56 países principalmente catalogados como economías emergentes y que desempeña un papel como estabilizador social, económico y político, así como de preservación del medio ambiente (Flores, 2014). El valor de su producción se estima en 200 mil millones de dólares anuales (Organización Internacional del Café [ICO], 2020).

Las cadenas de valor del café han alcanzado una escala global gracias a la liberalización del mercado, lo cual ha permitido una conexión directa entre empresas multinacionales y productores de diversas partes del mundo (ICO, 2020) que se caracterizan, principalmente, por poseer minifundios, es decir, extensiones de tierra menores a cinco hectáreas (Rhiney, 2021).

Lo cual genera procesos de intercambio y formación de precios en condiciones de asimetría con desventaja para los cafeticultores. En total, se estima que 25 millones de familias participan en la producción mundial de café, actividad de la que obtienen bajos rendimientos (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA], 2019).

En el caso mexicano resalta dentro de este entorno la creación del Instituto Mexicano del Café (INMECAFÉ) en 1958 con el objetivo de fungir como agente monopsonico en apoyo a pequeños productores que se encontraban desarticulados; sin embargo, con la agenda institucional predominante en el mundo y tendiente a liberalizar los mercados, in-

cluso los agrícolas, en 1989 desaparece el instituto con una actividad cafecultora caracterizada por productores minifundistas, baja capacidad técnica y expuestos a dinámicas globales y complejas como la formación de precios en el mercado de futuros.

Con la instauración del modelo económico neoliberal, el mercado de café vio cada vez más ausente la participación estatal dando paso al sector privado como principal comprador del grano en México. Tal decisión ocurrió bajo condiciones de asimetría entre productores y compradores, bajo nivel de tecnificación, minifundios excluidos de la política pública, entre otros. En suma, las condiciones económicas de los cafecultores no eran las más adecuadas para abrirse a un modelo de competencia internacional.

De este modo, los cafecultores mexicanos han participado en el mercado internacional del café con una producción impulsada por la mano de obra intensiva, cafetales envejecidos, poca capacidad tecnológica, expuestos a plagas y enfermedades, bajos niveles de productividad y otras condiciones que lo colocan en desventaja frente a otros países productores (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2017)

Durante el periodo 2000-2019, las exportaciones mexicanas de café verde y tostado han ido perdiendo competitividad en el mercado internacional debido, entre otras cosas, a que las condiciones estructurales de la cafecultura nacional no han mejorado significativamente respecto a aquellas con las que se contaban durante el comienzo de su liberalización (Rivera, 2022).

Desde entonces, la cafecultura mexicana se ha visto envuelta en una dinámica descendente. En 2018 se cosecharon 629,798 hectáreas con una producción de 860.0 millones de toneladas de café cereza con una reducción de 50% en el periodo 2012-2016 debido en buena medida a la propagación de la roya de café, el cambio climático, disminución de precipitaciones pluviales (CEDRSSA, 2019).

La producción del aromático se desarrolla en 480 municipios dentro de 15 entidades federativas empleando a 515,000 productores de los cuales, 85% es de origen indígena. Además, el café producido en los cinco estados cafetaleros (Chiapas (41.3%), Veracruz (24.4%), Puebla (15.8%), Oaxaca (8.2%) y Guerrero (4.5%)) concentra 94.1% del total nacional (CEDRSSA, 2019).

Aún bajo este escenario, en 2016 la Secretaría Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en su Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, previó un incremento acumulado en el

consumo interno de 16.48% y de 471.46% en la producción nacional, así como un mayor papel en el mercado de exportaciones por medio del fortalecimiento de acuerdos comerciales hacia Estados Unidos, Canadá, Alemania, España, Bélgica, Italia, Francia, Países Bajos, Suiza, entre otros.

En este sentido, es necesario que la cafecultura del Estado de México se inserte en este plan de expansión de la producción y consumo de café. Sin embargo, existen características especiales que pueden representar un desafío para tal empresa debido a que posee las mismas problemáticas que se describen en el contexto nacional y algunas particulares que se señalan en el presente texto.

La producción de café se lleva a cabo, principalmente en los municipios de: Amatepec, Malinalco, Ocuilan, San Simón de Guerrero, Sultepec, Tejupilco, Temascaltepec y Tlatlaya en minifundios y bajo diversas formas de propiedad como son: ejidos, bienes comunales y propiedad privada.

El Estado de México tiene una participación marginal dentro de la producción nacional de 0.07% distribuido en 530 hectáreas a cargo de 650 productores (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2022). La única especie presente en la entidad es la arábica, de la cual se encuentran presentes variedades tales como: bourbon, caturra amarillo, caturra rojo, garnica, pacamara y típica que, al igual que en el resto del país, es vulnerable a plagas y enfermedades que merman considerablemente su producción.

Aunado a lo anterior, los cafecultores del Estado de México cuentan con una incipiente capacidad de organización social y productiva, lo cual se refleja en la presencia de una única organización cooperativa constituida formalmente en el municipio de Amatepec, ubicado en la región sur de la entidad que integra a menos del 10 por ciento de éstos con un costo de 60 mil pesos por acción.

De acuerdo con el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2022), los municipios cafecultores del Estado de México cuentan, además, con serios problemas de marginación, observándose tasa de carencia de educación básica mayores al 40% entre personas mayores de 15 años; entre un 20 a 30 por ciento de las personas viven en condiciones de hacinamiento. Asimismo, el porcentaje de personas que perciben menos de dos salarios mínimos rebasa al 80% de la población en algunas municipalidades.

Lo anterior suma a observarse un problema de oportunismo por parte de algunos acopiadores locales y grandes compradores que reper-

cuten, junto a la presencia de costos de transacción, en el proceso de formación precios en perjuicio de los productores locales debido a un funcionamiento poco efectivo por parte de las instituciones formales presentes en la región y que los obliga a recurrir a un marco institucional informal que les permite reducir fricciones en el proceso de intercambio (Rivera, 2021).

En el plano gubernamental, las políticas públicas han sido cruciales en el Estado de México, para el impulso productivo del café, a través de la dotación de planta, servicios de extensión agrícola, innovación y apoyo en las vinculaciones con mercados. El Gobierno del Estado de México, como se aprecia en algunos de los artículos aquí expuestos, ha tenido una presencia destacada en la cadena productiva del café con algunas áreas de mejora en el diseño de los programas de apoyo al campo, ya que es imperante seguir fortaleciendo la presencia institucional en regiones rurales prioritarias como es el sur mexiquense, donde la actividad agrícola debe sobreponerse con resiliencia al deterioro de los territorios a causa de fenómenos sociales como las migraciones y la violencia social. Es así, que el apoyo a través de políticas públicas para el desarrollo rural son pieza clave para tener territorios productivos funcionales a partir del apoyo integral a cadenas de valor con fuerte potencial como es el café.

Bajo la imperante necesidad de contribuir a comprender los principales retos de la producción de café en el Estado de México, así como de las actividades económicas y procesos sociales que de ella se desprenden, emerge la iniciativa de generar la presente obra editorial titulada “Café mexiquense. Producción, mercado y política pública”, la cual tiene por objetivo fungir como un articulador de conocimientos alrededor de la producción de café en el Estado de México desde diversas aristas como son: cadena productiva, territorio, gestión agronómica, sustentabilidad, beneficio, mercado y políticas públicas.

El presente libro se compone de 16 capítulos agrupados en cuatro secciones. La primera sección, titulada “Situación mundial, nacional y estatal de la producción de café”, la integran cinco capítulos. El primer capítulo, “Panorama de la cafecultura en el contexto: internacional, nacional y en el Estado de México”, recopila información de campo mediante entrevistas y revisión documental de datos históricos sobre la producción, el consumo y el precio en el ámbito internacional, nacional y estatal, así como un amplio panorama sobre aspectos tales como: demanda de mercado, problemáticas y similitud con otras regiones productoras de café.

En segundo lugar, “La cafeticultura del Estado de México, en una perspectiva de largo plazo”, se realizó un análisis de la cafeticultura desde su evolución y se plantea que, a la par de las etapas y regiones de difusión del café; hay un proceso individual y permanente de expansión del café. Entre los resultados resalta que sólo el 39% de cafetos en la entidad mexiquense están en etapa productiva. En el mismo sentido, los DRP integrados para el estado, señalan la problemática del bajo manejo de las plantaciones y la necesidad de su mejoramiento, destacan los problemas fitosanitarios y la problemática de acceso al agua para riego. Asistencia técnica y mecanismos de captación y cuidado del agua, están entre las alternativas.

En el tercer capítulo, “Impulso a la producción de café en territorios mexiquenses”, se revisó el estado que guarda la producción de café en el estado de México, la cual se contextualiza y caracteriza con el fin de tener una visión integral. De lo anterior, se evidencia la importancia de este cultivo agrícola con una relativa historia reciente, el cual constituye un cultivo estratégico para el desarrollo rural y comunitario, centrando la atención en el papel que juega la participación de las familias en su elaboración. Asimismo, se identificó en dónde han estado los apoyos brindados para su impulso, así como las principales barreras que se han presentado para vigorizar a este sector, con el fin de conocer las políticas públicas destinadas a fortalecerlo y hacer propuestas propias para atender sus necesidades particulares.

En el capítulo cuatro, “La cadena productiva del cultivo de café en el Estado de México”, tuvo por objetivo identificar limitaciones y puntos críticos en los eslabones de la cadena, así como posibles estrategias de mejora y acciones a seguir para generar ventajas competitivas entre los actores involucrados, además de conocer cómo se desarrolla la cafeticultura en la zona y comprender la participación de cada elemento, da una visión amplia y detallada del panorama y una perspectiva real del potencial que se tiene.

La segunda sección, titulada “Temas avanzados sobre la heterogeneidad productiva del café mexiquense”, se compone por cuatro capítulos. El primero de ellos titulado “Brechas productivas de la producción mexiquense del café tostado y molido en el contexto nacional, 2008-2018”, en el que se analizaron las brechas productivas de la producción mexiquense del café tostado y molido en el contexto nacional mediante un modelo *shift-share* y los niveles de productividad de las principales entidades productoras de café tostado y molido respecto de la productividad nacional. Dentro de los hallazgos se observó una amplitud en

las distancias productivas entre la entidad mexiquense y la relacionada con la nacional, aunque mucho mayor respecto de Veracruz, el principal productor de café tostado y molido en México en 2018. Lo que refleja aumento en la desigualdad estructural, medida por los niveles de productividad, lo que hace suponer la existencia de un mercado de trabajo del café tostado y molido en el Estado de México con bajos ingresos y escasa o nula protección laboral, también asociados el tamaño micro de sus empresas.

Enseguida, aparece el capítulo “Mercado de Café del Sur del Estado de México. Una aproximación desde la teoría de costos de transacción y la estrategia empresarial”, que tuvo por objetivo analizar la oferta en el mercado de café en el sur del Estado de México a partir de la teoría de costos de transacción. Para ello, se utilizó una investigación exploratoria de corte cualitativo mediante el trabajo de campo, realizando entrevistas semiestructuradas a cinco productores de café del sur del Estado de México. A partir de los hallazgos, se señala la importancia de apoyar a los afectados con asesorías encaminadas a disminuir los costos de transacción.

Posteriormente, en el capítulo “La producción y comercialización del café en el sur del Estado de México”, se caracteriza el sistema de producción y comercialización del cultivo de café desarrollado por los productores de la región sur del Estado de México. Los resultados mostraron que el aprovechamiento del café se desarrolla bajo un sistema de producción rústico o de montaña, el cual se despliega en pequeñas unidades de producción dispersas, como un complemento de otras actividades agropecuarias. El canal de comercialización tradicional empleado para llevar el producto desde la explotación hasta el consumidor final fue: la venta directa del productor a la cooperativa de productores, la cual le añade valor al producto y opera como principal intermediario. La participación de los productores en el precio final del producto fue en promedio de 75.46%, el acopiador participó con 15.67% y los detallistas 8.92%.

La tercera sección de la presente obra editorial “Éxito cafetalero en el sur del Estado de México” se encuentra integrado por dos capítulos. El primero lleva por título “De la producción marginal a la taza de excelencia: el café del Estado de México”, en el cual se sistematizaron las experiencias y resultados que han logrado los productores del Estado de México, en el certamen de Taza de Excelencia de Café México. Se muestra cómo un estado cafetalero pequeño en superficie sembrada y producción de café ha sido ganador en las últimas tres versiones que

se ha realizado este certamen, dando a conocer y posicionado su café, como un café de alta calidad en los escenarios nacional e internacional.

Y el segundo capítulo, “Federico Barraeta: el café de la ilusión, historia de vida en una taza de excelencia”, consiste en un estudio de caso cuyo objetivo fue describir la historia del productor de café del sur del Estado de México desde sus inicios en la producción de café hasta su participación en certámenes de calidad del café.

Dentro de la cuarta sección, dedicada a los “Retos agroecológicos y agroindustriales del café del sur mexicano”, se presentan tres contribuciones. En el capítulo “La fertilización de café en el sur del Estado de México”, se describe el uso de paquetes tecnológicos orgánicos, los cuales son aún parciales y solo incluye la fertilización, faltando por abarcar control de plagas y enfermedades con productos orgánicos, un aspecto que deben desarrollar institutos de Investigación estatales y federales.

Por su parte, el capítulo “El arte del tostado y su relación con la calidad en el café (*Coffea arabica* L) del Estado de México”, detalla la importancia que ha cobrado el proceso de tostado dentro del beneficio del grano como una práctica fundamental para mejorar la calidad y con ello la comercialización del producto referido.

Finalmente, en el capítulo “La práctica de la fermentación como un proceso indispensable en el beneficio del café mexicano”, se expone una descripción detallada de la importancia de la fermentación sobre la calidad del café partiendo del hecho que dentro del mercado se buscan variedades sobresalientes, las cuales son más apreciadas en el mercado por su alta calidad, a lo que se puede anexar el desarrollo de mejores prácticas de manejo agronómico orientadas a crear la calidad requerida y, por otro, está la preocupación sobre como los procesos postcosecha entre ellos la fermentación intervienen en la calidad del grano que finalmente se refleja en la calidad en taza.

En la quinta parte del libro “Problemas de gestión fitosanitaria en la cafecultura mexicana”, aparecen cuatro contribuciones sobre el tema. En primer lugar, el capítulo “Comparación de la distribución espacial de minador de la hoja (*leucoptera coffeella*) en cafetales del Estado de México”, desarrollado en tres principales municipios productores de este grano; donde se realizaron 12 muestreos por parcela, en un total de seis parcelas (dos por municipio) y se integraron mapas de infestación mediante la técnica del krigado para conocer la agregación de la plaga, lo que resulta de utilidad para determinar un control sobre áreas específicas dentro de la parcela.

En la misma línea de conocimiento el capítulo “Comportamiento espacial de ojo de gallo *Mycena citricolor*, en cafetales del Municipio de Sultepec; Estado de México”, se realizó seleccionando seis parcelas y 200 cafetos al azar por parcela, los cuales se marcaron y georreferenciaron geográficamente para llevar a cabo muestreos quincenalmente de septiembre del 2020 a febrero del 2021. La distribución espacial de *Mycena citricolor* se obtuvo mediante un enfoque geoestadístico, mostrando diferentes ajustes a modelos como gaussiano, esférico y exponencial, los cuales fueron validados mediante un enfoque de validación cruzada, revelando una distribución agregada. Se concluyó que la geoestadística es una herramienta eficaz para el estudio y predicción de esta enfermedad.

Del mismo modo, el presente libro contiene estudios sobre una de las principales preocupaciones en la producción de café: la roya. Así, en el capítulo “Comportamiento de las poblaciones de roya del café (*Hemileia vastatrix* Berkeley y Broome) en parcelas de Amatepec, Estado de México”, tuvo por objetivo estimar el comportamiento espacial de las poblaciones de la roya del café en el municipio referido para ayudar a predecir futuros comportamientos. Los mapas elaborados muestran la presencia de centros de agregación, y una distribución ajustada a modelos de tipo esférico, exponencial y gaussiano.

Finalmente, en el capítulo “Estudio de comportamiento espacial de la enfermedad mancha de hierro (*Mycosphaerella coffeicola*) en cafetales, del municipio de Amatepec”, se presenta el tipo de distribución y los mapas de densidad del hongo mancha de hierro a través del uso de la geoestadística y cuyos resultados obtenidos mostraron la existencia de una disposición espacial agregada. Por tal motivo, la aplicación de la agricultura de precisión en el manejo de este hongo resulta factible lo que permite dirigir las medidas de control fitosanitario a zonas determinadas donde es alta la presencia del hongo.

Con la articulación de las investigaciones contenidas en el presente libro a cargo de investigadores e investigadoras, estudiantes de posgrado y otros expertos en el tema se ofrece un panorama multidimensional de la cafecultura mexiquense del que se subyacen contribuciones respecto a la comprensión de la evolución y situación actual de la producción; condiciones del mercado y la cadena productiva; beneficio, plagas y enfermedades; fertilización, suelo, territorio y casos de éxito en el Estado de México.

El alcance académico de la presente obra contribuye a nutrir la literatura científica al articular un conjunto de investigaciones que analizan el café del Estado de México desde diversas aristas, lo cual permitirá conti-

nuar profundizando en el análisis y generación de propuestas alrededor de esta actividad económica de la que se dispone de literatura escasa.

Por su impacto social, genera información valiosa y aprovechable por autoridades de las tres órdenes de gobierno, organismos públicos y empresas privadas, ejidos y campesinos, formuladores de política pública, organizaciones productoras de café, cafeticultores, académicos, estudiantes y público en general

Fuentes consultadas

- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2019a). Producción y mercado de café en el mundo y en México. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/39Reporte_Produccion_y_mercado_de_cafe_-_Cedrssa_2014.pdf Consultado el 3 de octubre de 2019
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2019b). Comercio internacional del café. El caso de México. http://www.cedrssa.gob.mx/post_n-comercio_internacional_del_cafn-n-_el_caso_de_mn-xico.htm
- Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2022). Índices de marginación 2020. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372> Consultado el 10 de junio de 2022.
- Flores, F. (2014) La producción de café en México: ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas. Espacio I+D Innovación más Desarrollo, 4 (7), 174-194. <https://espacioimasd.unach.mx/index.php/Inicio/articulo/view/60>
- Organización Internacional del Café (ICO) (2020). The value of coffee: sustainability, inclusiveness, and resilience of the coffee global chain. Recuperado de <https://www.internationalcoffeecouncil.com/cdr2021>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Encuesta Nacional Agropecuaria. <https://www.inegi.org.mx/datos/#Programas>
- Rhiney, K., Guido, Z., Knudson C., Avelinod, J., Bacong, C., Leclercf, G., Aimej, C. y and Beberk D. (2021). Epidemics and the future of coffee production. *Perspective*, 118(27), 1-10. <https://doi.org/10.1073/pnas.2023212118>
- Rivera, R., C., R. (2021), “Costos de Transacción, Instituciones y Organizaciones Agrícolas. Un análisis para el mercado del café del sur del Estado de México, 2020”, Tesis para obtener el grado de doctor en Ciencias Económico Administrativas, Universidad Autónoma

ma Del Estado De México Facultad de Contaduría y Administración
Facultad de Economía, noviembre de 2021.

Rivera, R., C., R. (2022). Competitividad del café mexicano en el comercio internacional: un análisis comparativo con Brasil, Colombia y Perú (2000 – 2019). *Análisis Económico*, 37(94), pp. 181-199

Secretaria de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2016). Planeación agrícola nacional 2017-2030. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256426/B_sico-Caf_.pdf

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2022). Consulta de datos estadísticos para el ciclo de producción. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>

**Parte I. Situación mundial, nacional y estatal
de la producción de café**

Panorama de la caficultura en el contexto internacional, nacional y en el Estado de México

Gabriel Leguizamo Sotelo¹, Martín Rubí-Arriaga², Martha Lidya Salgado Siclán² y José Francisco Ramírez Dávila²

Introducción

La historia del café está llena de mitos y relatos, por lo que tener la certeza de su origen es complicado. El descubrimiento de los cafetos se les atribuye a los esclavos africanos que comían las cerezas del café, mismas que posteriormente llegaron a Arabia en el siglo XV, lugar en el que se presume que inició el consumo como bebida y su propagación. Sin embargo, se desconoce cómo fue que comenzó a utilizarse el método de tostado (Serpa, 1964; citado por Higuera y Rivera, 2018: 4).

La comercialización del café puede ser trazada desde 1800, cuando emprendedores en Estados Unidos, vieron el mercado de proveer un café que fuera más asequible, no solo en términos monetarios, sino también como un producto listo para tomarse. Compañías como Folgers® y Maxwell House® se convirtieron en las marcas más populares, pues gracias a sus innovaciones en procesamiento, empaquetamiento y comercialización permitieron que la industria del café fuera lanzada al futuro (Canet *et al.*, 2016).

Desde hace casi cinco décadas, Brasil ha sido el principal productor de café en la variedad arábica, el cual concentra entre el 35 y 40% de la producción a nivel mundial. Pues ésta pasó de 23,2 millones en 1963-1964 a 50,8 millones en 2012-2013 y para el ciclo 2019-2020 a 58,21 millones de sacos; es seguido por Colombia, el cual contribuye con el 8

¹ Estudiante del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo", El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: leguizamo-uaemex@hotmail.com.

² Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo", El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: mrubia@uaemex.mx; mlsalgados@uaemex.mx; jframirez@uaemex.mx

y 15%, Indonesia cuya aportación es del 6 al 8% y Etiopia oferta del 4 al 8% (Didier, 2018). Hoy en día, México, se encuentra posicionado como el décimo productor de café en esta variedad, con una participación apenas del 2.41% para el ciclo 2019-2020.

El principal productor de café robusta en el mundo es Vietnam, que produce el 42%, seguido de Brasil con el 25% de este tipo de café. Cabe mencionar, que el caso de Vietnam, es relativamente novedoso, debido al escalamiento de producción que alcanzó en los últimos años, ya que en 1987 se encontraba en el lugar número 31 en producción. Como resultado de las políticas fomentadas por el Banco Mundial a finales de los años 80's y principios de los 90's, las condiciones favorables para el cultivo de este tipo de café, el uso intensivo de fertilizantes, el incremento de la superficie sembrada, sumados al consecuente aumento en los rendimientos, Vietnam ha alcanzado posicionarse como el primer productor de café robusta como lo menciona el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2014).

De manera contraria, "México, ha ido en descenso en su producción. En 1989-1990 alcanzó un total de 5,1 millones de sacos y pasó a 4,3 millones de sacos en 2012-2013, de acuerdo con la International Coffee Organization" (ICO, 2014, p. 6) y para el ciclo 2019-2020 disminuyó a 3,9 millones de sacos (ICO, 2022). La participación en la producción mundial se ha reducido drásticamente en un 15.68% al 23.52% respectivamente para los ciclos analizados anteriormente. Lo cual, obedece a una serie de problemas como: la reciente presencia de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Verkeley y Brome), principal causa de los bajos rendimientos, cafetales viejos con más de 20 años sin algún manejo agronómico (manejo del tejido vegetal), bajas densidades de plantación, lo que genera que los productores no tengan la suficiente solvencia económica (rentabilidad) para seguir invirtiendo. Dando como resultado, en muchos de los casos el abandono del cultivo y/o el cambio de especie o de cultivo definitivamente.

En la entidad mexiquense como lo mencionan Morales *et al.* (2021: 297), "donde las condiciones de clima, suelo y la altitud en las regiones cafetaleras". Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, mejor conocida como SIAP (2021), el café se cultiva en ocho de los 125 municipios del estado, en una superficie de 545.51 hectáreas y con una producción de 576.10 toneladas de café cereza para el ciclo cafetalero 2019-2020. Sin embargo, la producción actual se considera

marginal y se muestra un escenario amenazador, con el cambio climático que se presenta para algunas regiones productoras del país.

Resulta importante mencionar, que en los últimos cinco años, el reconocimiento del café mexicano ha sido alentador, ya que dos cultivadores de la entidad han participado en el concurso “Taza de Excelencia”, México 2021, obteniendo calificaciones por arriba de los 90.0 puntos, los productores que participaron fueron el Sr. Federico Barrueta Barrueta (Temascaltepec) en el 2018, 2019 y 2021 y el Sr. Clímaco Cruz Cruz del municipio de Almoloya de Alquisiras (2021), quienes en este último certamen obtuvieron el cuarto lugar y tercer lugar (90.19 y 90.13 puntos) respectivamente de acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2022).

Situación de la cafeticultura en el mundo

A nivel internacional, la importancia del café es inmensa, tan solo la cadena de valor compuesta por el cultivo, procesamiento, beneficio, transporte y comercialización, genera empleos e ingresos por la venta del aromático. Además, el café ha adquirido una característica cultural para degustarlo con amistades, forma parte de socializar y de cerrar negocios, sin que sea necesario que los consumidores conozcan el origen o la situación que viven miles de familias productoras de este grano (Cano, 2016: 81).

La producción y oferta del café mundial se divide en dos grandes tipos definidos por la variedad cultivada: *arábica* y *robusta* (0.8 al 1.7%, 1.5 al 2.5% del contenido de cafeína y una altitud de 700 a 2,200 m, y de 0 a 900 m para su producción respectivamente) y en el mercado el sector mayoritario está dado por el café *arábica*. Donde, el principal productor de este tipo de café es Brasil, que concentra alrededor del 40% de la producción mundial (CEDRSSA, 2014) y para el 2021, su aportación fue del 35.26% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de café por país para el ciclo 2019-2020, en miles de sacos de 60 kilos

País	Tipo de variedad	Miles de sacos (60 kg)	% de Participación
Brasil	(A/R)	58,211	35.26
Vietnam	(R/A)	30,487	18.47
Colombia	(A)	14,100	8.54

Continúa

Cuadro 1. Continuación

Indonesia	(R/A)	11,433	6.92
Etiopía	(A)	7,343	4.44
Honduras	(A)	5,931	3.59
Uganda	(R/A)	5,509	3.33
India	(R/A)	4,988	3.02
Perú	(A)	3,836	2.32
México	(A/R)	3,985	2.41
Guatemala	(A/R)	3,606	2.18
Nicaragua	(A)	2,882	1.74
Costa de Marfil	(R)	1,929	1.16
Costa Rica	(A)	1,472	0.89
Tanzania	(A/R)	926	0.56
Kenia	(A)	844	0.51
Papúa Nueva Guinea	(A/R)	752	0.45
El Salvador	(A)	661	0.40
Venezuela	(A)	650	0.39
Ecuador	(A/R)	559	0.33
Tailandia	(R/A)	517	0.31
República Democrática Popular Lao	(R)	622	0.37
República Dominicana	(A/R)	402	0.24
Madagascar	(R)	383	0.23
Rwanda	(A)	348	0.22
Haití	(A)	347	0.21
Pilipinas	(R/A)	307	0.18
Camerún	(R/A)	268	0.16
Guinea	(R)	178	0.10
Otros	(A/R)	1,577	0.95
Total		165,053	100.00

Tipo de variedad: (A) Arábica y (R) Robusta.

Fuente: Elaboración propia con datos de la International Coffee Organization (ICO, 2022).

La dinámica de la producción mundial de café se ha caracterizado por el fenómeno de la bianualidad, que repercute en una inestabilidad considerable en el volumen producido, con una gran cosecha en un año seguido, con frecuencia, por una cosecha menor en el siguiente.

Durante los últimos 50 años, ha existido un crecimiento constante en la producción mundial, pero con caídas periódicas intercaladas, teniendo que para la cosecha en el periodo 2012-2013, la producción mundial de café alcanzó los 145,1 millones de sacos, la más grande de la historia según datos del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFFE, 2014).

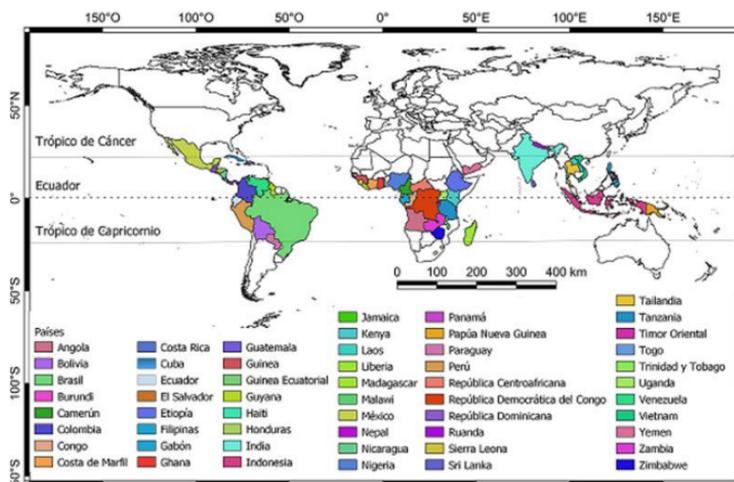
En el Cuadro 1, se puede apreciar que la producción de café a nivel mundial para el ciclo 2019-2020, alcanzó 165,053 millones de sacos de 60 kilos, lo equivalente a 9,903,180 millones de toneladas de café verde cosechados en la zona intertropical (localizados entre el trópico de cáncer y de capricornio), en donde, se menciona que se reúnen las condiciones agroclimáticas idóneas para el cultivo y producción de esta aromática especie, también conocido como el “cinturón del café”, tal como se muestra en la Figura 1.

En la actualidad, la producción mundial está dada por la participación de 85 países distribuidos en tres de los cinco continentes existentes en el planeta tierra, en donde el 69.20% del volumen de la producción proviene de tan solo cuatro países como son: Brasil, Vietnam, Colombia e Indonesia (Cuadro 1) y los mayores volúmenes producidos son de la especie arábica, con una clara tendencia por la producción por la especie robusta.

Para el caso de México, recientemente se ha mantenido en el tablero con el décimo lugar, entre los países productores, y de acuerdo a las estadísticas de la (ICO), tiene una aportación de 3,985 mil sacos o bien una participación del 2.41%, seguido por Guatemala (2.18%) y antecedido por Perú (2.32%), con porcentajes similares entre estos países (Cuadro 1).

Cabe señalar que, para el caso de México, en ciclos anteriores se había mantenido entre los primeros cinco países productores de café convencional, el primero en la producción de café orgánico y en las últimas dos décadas ha sido desplazado por otros países hasta llegar al lugar en el que se encuentra en la actualidad. Didier (2018: 20), menciona que “Perú rebasó a México, en términos de rendimiento de café de calidad, la misma tendencia ocurrió para el nivel del café orgánico”. En donde, se puede decir que México, ha reducido drásticamente su producción ya que paso del quinto al décimo lugar, después de estar entre los principales países productores de café.

Figura 1. Países productores de café a nivel mundial, situados geográficamente entre el trópico de cáncer y de capricornio conocido como el cinturón del café



Fuente: Elaboración propia con datos de la International Coffee Organization (ICO, 2022).

Es importante mencionar, que la demanda del café a nivel mundial rebasa las cifras de café producido, con una tendencia al alza por los países consumidores por el café tostado y molido en comparación con el café soluble.

A pesar de todo lo antes mencionado, en los países productores, los cultivadores se mantienen en pobreza y marginación sin lograr mejorar la calidad de vida por las diversas condiciones sociales, políticas y económicas en la cual se encuentran inmersos. A pesar de ello, los productores cafetaleros muestran una marcada resiliencia, pues en las regiones rurales, el café aún tiene un impacto económico y social debido a que emplean mano de obra rural, fomenta el tejido social, crean vínculos con el territorio y genera saber empírico de generación en generación (Cano, 2016: 81).

En la actualidad, los países importadores de café, se pueden agrupar en dos grandes grupos (países socios), los cuales adquieren cerca de 134,944 miles de sacos de 60 kg en café verde y el segundo grupo (no socios), quienes compran 38,959 miles de sacos, que en su totalidad la demanda para el 2019 fue de 173,903 mil sacos a nivel mundial (Cuadro 2).

De esta manera, se tiene que un primer bloque conformado por países que integran a la Unión Europea, y el segundo integrado por paí-

ses como Estados Unidos de Norteamérica, Japón, Canadá, Federación Rusa, Reino Unido, Suiza, República de Corea, Malasia, República Popular de China, Australia, Ucrania y otros países, todos estos considerados como países importadores socios, son los que dominan el mercado en cuanto a la demanda del café tanto tostado como molido (Cuadro 2).

Uno de los principales componentes del mercado es el precio, el cual se puede definir como el valor monetario que se paga por algún bien, servicio y/o producto, en este caso la unidad determinada en el café puede ser un quintal o kilogramo, en sus diferentes presentaciones del grano o del fruto, cosechado o transformado (café cereza, pergamino, café oro, tostado y molido), el cual se liquida al productor, intermediario o comercializador y que están determinados por la ley de la oferta y la demanda (Partida *et al.*, 2021).

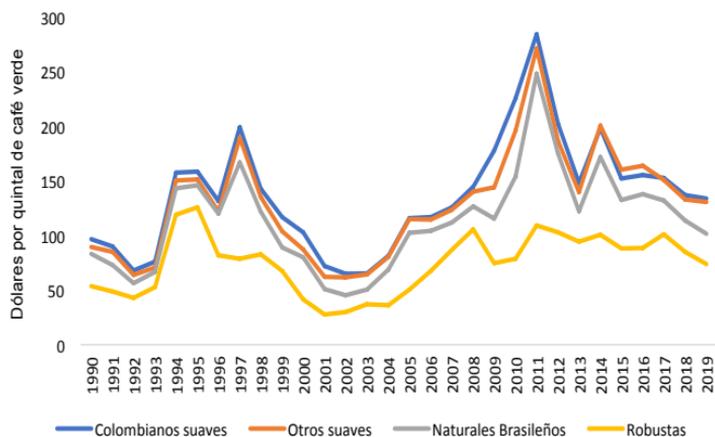
Cuadro 2. Principales países importadores de café, 2021

País	Miles de sacos (60 kg), en café verde
Unión Europea	80,057
Estados Unidos de América	30,854
Japón	8,040
Canadá	5,420
Federación Rusa	5,917
Reino Unido	5,554
Suiza	3228
República de Corea	3,134
Malasia	2,419
República Popular de China	2,124
Australia	2,178
Ucrania	1,457
Otros	23,521
Total	173,903

Fuente: Elaboración propia con datos de ICO, 2022.

En la Figura 2, se presenta la trayectoria de los precios desde 1992-2019 en los diferentes tipos de café que se comercializan a nivel internacional.

Figura 2. Precios internacionales del café, en sus diferentes tipos, para el periodo entre 1990-2019



Fuente: Elaboración propia con base en la información de la (ICO), 2022.

Situación del café en México

En México, la cafecultura se considera como una actividad estratégica fundamental, debido a que permite la integración de la cadena productiva, la generación de divisas y empleos, el modo de subsistencia de muchos pequeños productores y alrededor de 30 grupos indígenas y, en forma reciente, de enorme relevancia ecológica, pues provee servicios ambientales a la sociedad ya que el 90% de la superficie cultivada con café se encuentra bajo sombra diversificada, que contribuye a conservar la biodiversidad. No obstante, la importancia del sector cafetalero ha estado inmerso en recurrentes crisis por la caída de los precios en el mercado internacional (CEDRSSA, 2018: 3).

El declive del llamado oro verde, comenzó a inicios de la década pasada y hasta la fecha no se ha vuelto a obtener los 6,2 millones de sacos, que según datos de la SAGARPA se lograron entre 1999-2000; y que tan sólo en un lustro el volumen pasó de 5 a 2,3 millones (CEDRSSA, 2018: 5).

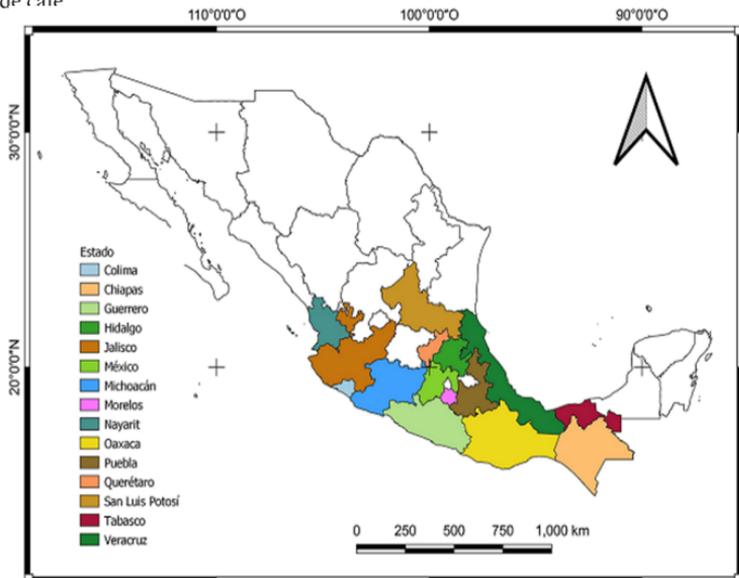
El café fue introducido a México, por cuatro rutas a diferentes regiones del país a finales del siglo XVII. Moguel y Toledo (1966) y Coello (2012), mencionan que procedía de Europa, y definen el año de 1790 como el periodo en que los españoles trajeron el arbusto al país. En el año de 1847 el cafeto entro a Chiapas proveniente de Guatemala.

De acuerdo con Higuera y Rivera (2018: 5) menciona, que

desde sus inicios el café fue producido por los pobladores más humildes, mientras que su consumo estaba destinado a las familias adineradas. Actualmente, la mayoría de los países subdesarrollados son productores de café, mientras que el mayor consumo se da en los desarrollados.

En México, se estima que 3 millones de personas dependen directa e indirectamente del café. A nivel nacional, hay alrededor de 500,000 productores que cultivan más de 700,000 hectáreas en 15 estados de la República Mexicana (Figura 3). Se calcula que, del total de productores, solo 179,974 efectúan la comercialización formal y el resto no está registrado en los sistemas de la caficultura mexicana o no lo venden directamente (Didier, 2018: 21).

Figura 3. Mapa de la República Mexicana y los principales estados productores de café



Fuente: Elaboración propia con base a la información de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

El 84.76% de la producción nacional está dada por cuatro estados por orden de importancia son: Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla, los cuales representan aproximadamente el 80% de los productores. Los mejores rendimientos hasta la fecha se obtienen en el estado de Puebla con 2.54 t ha⁻¹ y los más bajos se tienen en el estado de Querétaro con 0.43 t ha⁻¹ como se observa en el Cuadro 3.

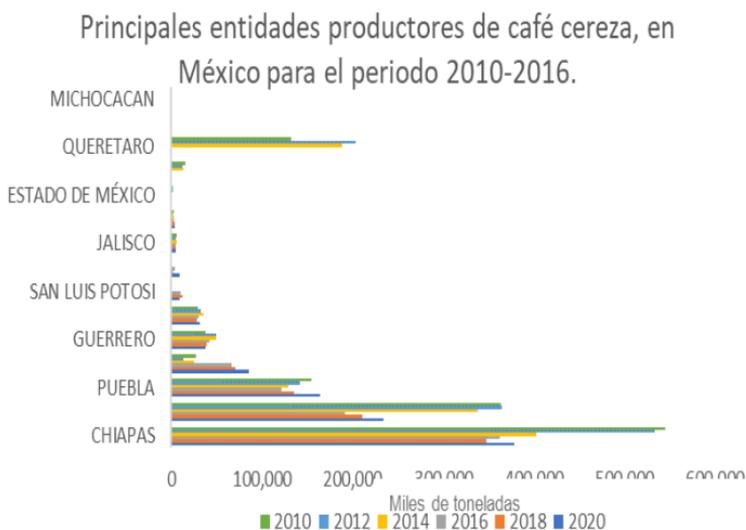
Cuadro 3. Superficie, producción y rendimiento por entidad federativa en el año 2021

Estado	Superficie (ha ⁻¹)			Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Participación
	Sembra-da	Cosecha-da	Sinies-trada			
Chiapas	253,318	237,656	0	378,601	1.59	35.65
Veracruz	144,582	126,254	0	234,189	1.85	20.35
Oaxaca	134,647	111,296	0	85,571	0.76	18.95
Puebla	69,652	64,254	0	163,378	2.54	9.80
Guerrero	45,556	40,034	0	38,023	0.95	6.41
Hidalgo	23,094	22,773	0	31,643	1.39	3.25
San Luis Potosí	16,149	16,132	0	8,864	0.54	2.27
Nayarit	16,090	10,308	0	8,976	0.87	2.26
Jalisco	3,489	3,489	0	4,723	1.35	0.49
Colima	2,704	2,700	0	3,229	1.19	0.38
Estado de México	539	526	0	623	1.18	0.07
Tabasco	358	358	0	421	1.17	0.05
Querétaro	199	199	0	86	0.43	0.02
Morelos	27	26	0	36	1.40	0.01
Michoacán	13	11	0	43	3.95	0.01
TOTAL	710,417	636,016	0	958,406		99.99

Fuente: Elaboración propia con base en la información de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

Como se ha mencionado anteriormente, que el 84.76% de la producción es aportada por los estados como: Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla, mientras que el otro 14.19% la ofertan los estados de Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí y Nayarit. Finalmente, los estados de Jalisco, Colima, Estado de México, Tabasco, Querétaro, Morelos y Michoacán aportan tan solo el 1.02% (Cuadro 3). De esta manera, son ocho los estados que en su conjunto reúnen el 98.96% de la producción nacional con 540 municipios productores de café (Figura 4).

Figura 4. Entidades productoras de café cereza, en México para el periodo 2010-2016



Fuente: Elaboración propia con base en la información de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

De acuerdo con el Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP, 2001: 11), la producción de café en México se agrupa en cuatro grandes regiones cafetaleras que son: “1). *Región Vertiente del Golfo*: comprende los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Estado de México y Veracruz, 2). *Región Vertiente del Océano Pacífico*: a esta pertenecen los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit y parte de Oaxaca, 3). *Región del Soconusco*: integrada por una amplia porción del estado de Chiapas,

y 4). *Región Centro Norte de Chiapas*: representada por las demás regiones productoras de café a excepción del Soconusco”.

Finalmente, el Cuadro 4 muestra algunos de los indicadores más importantes en la producción de café en México. Los cuales, sin duda alguna son parámetros no muy lejanos a la situación cafetalera de muchos otros países productores de América Latina y el Caribe.

Cuadro 4. Indicadores de la cafeticultura mexicana

Aspecto	Indicador	Dato
Sociodemográfico	Estados productores de café	15
	Regiones cafetaleras	67
	Municipios	540
	Comunidades	4,572
	Número de productores	527,662
	Edad promedio del productor (años)	55
	Nivel de escolaridad	Bajo
	Rendimiento promedio (ton. De café cereza por ha ⁻¹)	1.5
Económico	Precio promedio por la venta del café en cereza (ton)	\$4,207.00 a \$9,213.00
	Presentación de la venta del café	Cereza y pergamino
	Total de hectáreas de café	697,366
	Superficie promedio/ productor (ha ⁻¹)	1.65
Agronómico	Superficie cultivada bajo sombra (%)	90
	Producción total promedio (café cereza) ton	937,000
	Edad de las plantaciones (años)	80% mayor a 20 años
	Principales variedades cultivadas	Típica, Caturra y, Bourbon, Oro Azteca, Geisha, Java, Costa Rica, Pacamara, Marselesa, entre otras.
Cultural	Grado de marginación	Alto
	Número de grupos indígenas	30

Fuente: Partida *et al.* (2021), complementado con elaboración propia.

De acuerdo con la CEDRSSA (2014) en décadas pasadas, el consumo per cápita de café estaba alrededor de los 700 gramos. En la actualidad, y de acuerdo con la CEDRSSA (2018, p. 18), el consumo va en aumento, “el cual ha pasado de 1.4 a 1.6 kg por persona hasta principios de 2018”. A nivel mundial, Brasil tiene un consumo de 6 kg, mientras que en la Unión Europea representada por Francia e Italia su consumo es de 5.6 y 5.1 kg respectivamente y para el caso de Estados Unidos es de 4.5 kg. Cifras similares a lo reportado por Didier (2018), quien menciona también, que los países del norte de Europa son los que adquieren más café por persona con cerca de 10 kg.

“El precio que alcanzó la tonelada de café cereza hasta el año 2016, fue de \$5,489.61, que equivale a \$5.48 pesos el kilogramo” (CEDRSSA, 2018: 13). Asimismo, Partida *et al.* (2021: 13), mencionan que “el precio rural que se reporte por la SIAP, oscila desde los \$4,207.00 a \$9,213.00 pesos por tonelada de café cereza”. Cabe señalar, que los precios en las regiones cafetaleras son muy variables entre una zona y otra, lo cual es debido a los altos costos de los insumos (fertilizantes y agroquímicos), transporte, mano de obra y la disponibilidad de ellos en la zona. Sin embargo, el kilo de café verde u oro se puede conseguir en la actualidad hasta en \$60.00 pesos y la presentación en kilogramo de café molido en diferentes calidades, pueden ir desde los \$150.00 hasta los \$750.00 pesos según la marca comercial, la calidad del mismo y tipo de café (especialidad, denominación de origen, orgánico, gourmet u otra presentación) e incluso se puede conseguir en el mercado por arriba de los \$1,000.00 el kilogramo.

La situación de la cafeticultura en el Estado de México

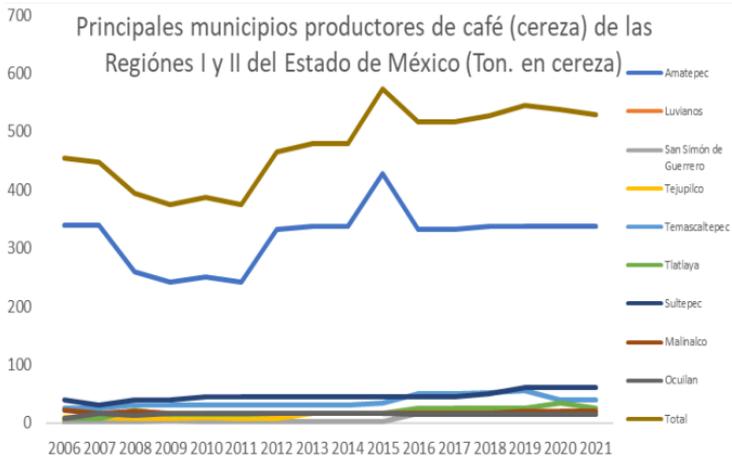
El Estado de México, es uno de los quince estados productores de café y solo aporta el 0.07% de la superficie nacional cultivada, ocupa el onceavo lugar en superficie sembrada (Cuadro 5), con aproximadamente 539 hectáreas y 650 productores que se dedican al proceso primario, secundario y algunos de ellos el terciario. La producción de café en la entidad mexiquense, se concentra básicamente al sur del estado y de acuerdo con la SIAP (2021), solo reconoce dos regiones: a) Región Cafetalera I de Tejupilco y b) Región Cafetalera II de Malinalco (Figura 5).

Cuadro 5. Los principales estados productores de café en México

Estado	Superficie (ha ⁻¹)		Producción (t)	Rendimiento (t/ha ⁻¹)	Participación
	Sembrada	Cosechada			
Chiapas	253,318	237,656	378,601	1.59	35.65
Veracruz	144,582	126,254	234,189	1.85	20.35
Oaxaca	134,647	111,296	85,571	0.76	18.95
Puebla	69,652	64,254	163,378	2.54	9.80
Guerrero	45,556	40,034	38,023	0.95	6.41
Hidalgo	23,094	22,773	31,643	1.39	3.25
San Luis Potosí	16,149	16,132	8,864	0.54	2.27
Nayarit	16,090	10,308	8,976	0.87	2.26
Jalisco	3,489	3,489	4,723	1.35	0.49
Colima	2,704	2,700	3,229	1.19	0.38
Estado de México	539	526	623	1.18	0.07

Fuente: Elaboración propia con base en la información de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

Figura 5. Principales municipios productores de café, en el Estado de México



Fuente: Elaboración propia con base en la información de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

I. Región Cafetalera de Tejupilco

De acuerdo con el Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café (CENACAFE). La Región Cafetalera I de Tejupilco, está integrada por los siguientes municipios: Amatepec (338 ha), Sultepec (60 ha), Tlatlaya (26 ha), Temascaltepec (17 ha), Tejupilco (16 ha) y San Simón de Guerrero (16 ha) Figura 6 (CENACAFE, 2019). “Y comprende 751 localidades, con una población de 195,359 habitantes, de los cuales 1,814 se consideran indígenas de las etnias Náhuatl, Matlatzinca y Mazahua, principalmente. La región presenta un grado de marginación de bajo a muy alto” (Morales *et al.*, 2021: 301).

Según Morales *et al.* (2021: 301),

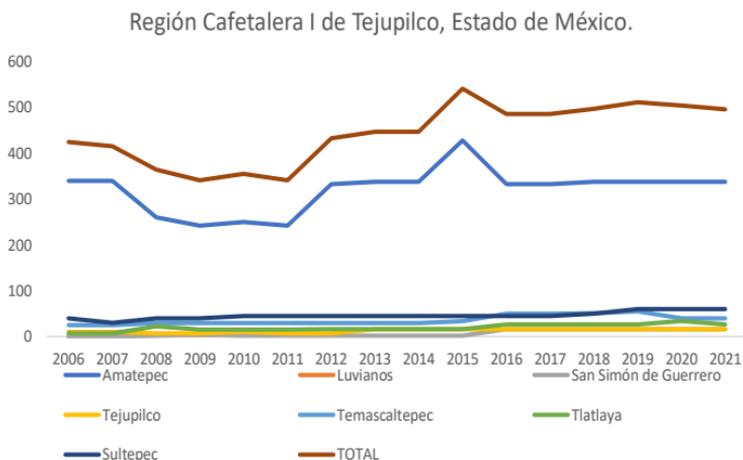
la región se extiende de los 18° 13' 21" a los 19° 03' 00" de latitud norte y de los 99° 51' 25" a los 100° 12' 27" de longitud oeste. Se ubica al sur del estado, en las estribaciones del eje Neovolcánico (Figura 7), su territorio posee dos volcanes apagados conocidos como Cerro Gordo y la Tinaja; además comprende barrancas y depresiones profundas que conforman sistemas montañosos como: Amatepec, Macizo de Toluca, la Sierra de la Cumbre, la Sierra de Pericones, la Sierra de Nanchititla o Cinacantla y la Sierra de Temascaltepec, que es una prolongación del Nevado de Toluca.

Tienen una altura promedio de 1,642 m, con variación de alturas medias municipales de 875 a 2,552 m. Presenta una temperatura media anual de 19.36 °C, con promedio de mínimas de 9.8 °C y las máximas de 33.6 °C, la precipitación alcanza los 1,377 mm anuales, con una evaporación total de 4,464 mm al año. La región tiene en promedio 109 días lluviosos y 6 días con niebla al año (Morales *et al.*, 2021: 302).

Cuenta con una superficie de 3,336.95 km², de los cuales 370.69 km² están dedicados a la agricultura, 923.00 km² son pastizales, 863.62 km² son bosques, 1,165.88 km² tienen vegetación secundaria y el resto está destinado a otros usos, los suelos presentes en la región son de tipo: Cambisol, Andosol, Litosol, Regosol, Feozem y Luvisol (Morales *et al.*, 2021: 302).

En el Cuadro 6, se muestra los principales municipios productores de café (superficie sembrada, cosechada, producción y rendimiento) los cuales pertenecen actualmente a la Región Cafetalera I de Tejupilco, en el Estado de México. En donde, se puede apreciar una superficie sembrada de 504 ha⁻¹, una producción de 556 toneladas y un rendimiento en promedio de 0.97 t ha⁻¹.

Figura 6. Municipios productores de café de la Región Cafetalera I de Tejupilco, Estado de México



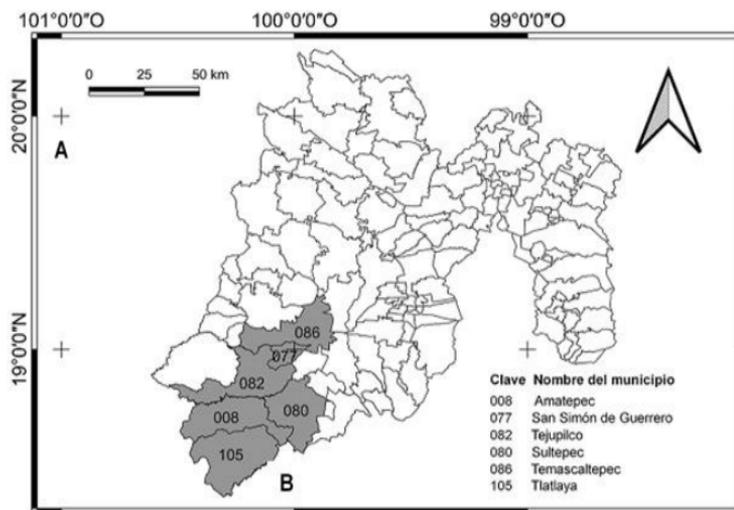
Fuente: Elaboración propia con base en la información de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

Cuadro 6. Superficie, producción y rendimiento de los principales municipios productores de café de la Región Cafetalera I de Tejupilco, en el Estado de México

Entidad Federativa	Región Cafetalera	Municipios	Superficie (ha ⁻¹)		Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
			Sembrada	Cosechada		
Estado de México	Tejupilco	Amatepec	338	333	393	1.18
		San Simón de Guerrero	16	16	13	0.81
		Tejupilco	16	16	12	0.71
		Temascaltepec	40	40	42	1.05
		Tlatlaya	34	26	23	0.89
		Sultepec	60	60	73	1.21
TOTAL			504	491	0	0.97

Fuente: Elaboración propia con base en la información de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

Figura 7. Ubicación geográfica del Estado de México y la Región Cafetalera I de Tejupilco y de sus municipios productores de café: Amatepec (008), San Simón de Guerrero (077), Sultepec (080), Tejupilco (82), Temascaltepec (86) y Tlatlaya (105)



II Región Cafetalera de Malinalco

La Región Cafetalera II de Malinalco, contempla a su mismo municipio, el cual lleva el propio nombre de la región con 20 ha y Ocuilán (14 ha) Figura 8 (CENACAFE, 2019), y de acuerdo con Morales *et al.* (2021: 298) “comprende 91 localidades, con una población de 57,427 habitantes, de los cuales 2,302 se consideran indígenas de las etnias Ocuilteco y Náhuatl, principalmente. La región presenta un grado de marginación medio”.

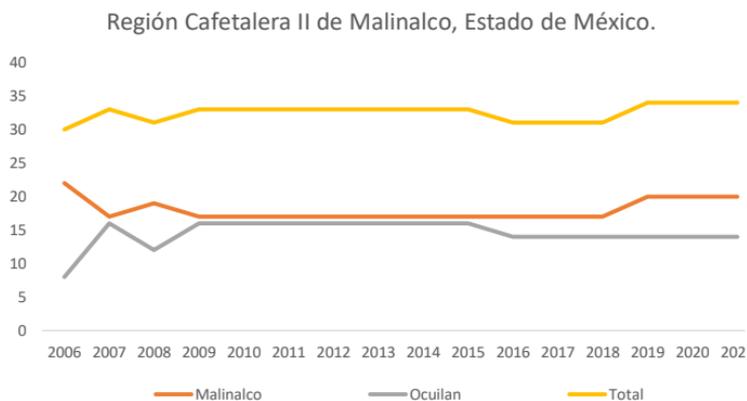
Morales *et al.* (2021: 298) mencionan, que

la región se extiende de los 18° 52' 30" a los 19° 57' 07" de latitud norte y de los 99° 16' 25" a los 99° 30' 06" de longitud oeste. Se ubica al suroeste del estado, en las estribaciones del eje Neovolcánico (Figura 9). El territorio en su mayoría es montañoso, sobresalen los cerros Capultepec, Cuamila, El Chivo, El Volador, Fraile, Gallinero, Jaltepec, La Ascensión, La Campana, La Culebra, La loma, Las Canoas, Los Encinos, Los Ídolos, Matlalac, Metepec, Monte Grande, Olotepec, Orquemes, entre otros.

Tienen una altura promedio de 2,045 m, con variación en las alturas medias municipales de 1,750 a 2,340 m. Presenta una temperatura media anual de 18.0 °C, con promedio de mínimas de 7.2 °C y de máximas de 27.8 °C. La precipitación media alcanza los 1,226 mm anuales, con una evaporación total de 1,881mm al año. La región tiene un promedio 111 días lluviosos y un día con niebla al año (Morales *et al.*, 2021).

Cuenta con una superficie de 519.48 km², de los cuales 171.54 km² están dedicados a la agricultura, 34.35 km² son pastizales, 199.36 km² son bosques, 11.08 km² tienen vegetación secundaria y el resto está destinado a otros usos, los suelos presentes en la región son de tipo: Cambisol, Andosol, Litosol, Regosol, Feozem y Luvisol. En esta región los cafetales se han ido reduciendo, quedando a nivel de traspatio. Los productores valoran los cafetos en añoranza a tiempos pasados y expresan que les gustaría conservarlos (Morales *et al.*, 2021: 299).

Figura 8. Municipios productores de café de la Región Cafetalera II de Malinalco, Estado de México

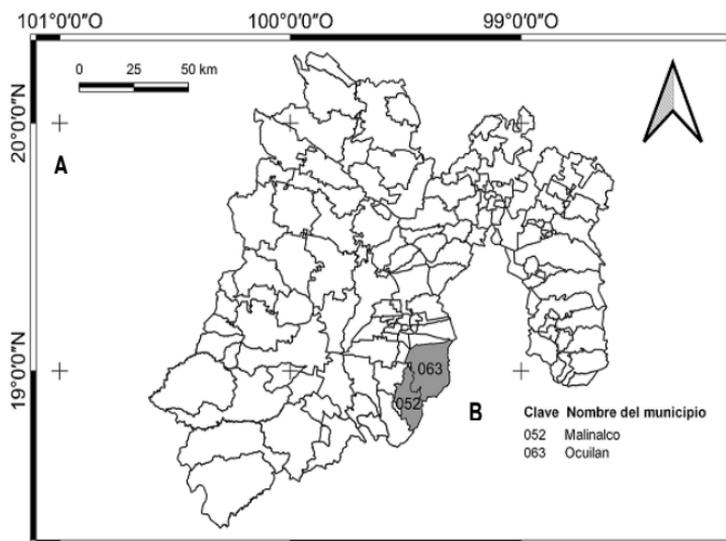


Fuente: Elaboración propia con base en la información de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

En el Cuadro 7, se muestra los principales municipios productores de café (superficie sembrada, cosechada, producción y rendimiento), los cuales pertenecen actualmente a la Región Cafetalera II de Malinalco, en el Estado de México. En donde, se puede apreciar una superficie sembrada de 34 ha⁻¹, una producción de 66 toneladas y un rendimiento promedio de 1.98 t ha⁻¹, para esta zona. En tanto que en la Figura 10 se

presenta la ubicación geográfica del Estado de México donde se señalan municipios productores de café no reconocidos por la SIAP.

Figura 9. Ubicación geográfica del Estado de México y la Región Cafetalera II de Malinalco y sus municipios productores de café: Malinalco (052) y Ocuilán (063)



El precio de venta por kilogramo de café en la entidad, se puede decir que hasta la fecha es uno de los mejores cafés pagados al productor, si se compara con otros estados productores en México (Chiapas, Oaxaca, Guerrero, entre otras zonas de producción), en donde, los precios son más bajos en cualquiera de las presentaciones en que se comercializa, distribuye o se entrega a terceros para su procesamiento secundario o terciario según sea el caso. Esto es, debido a que en esta zona no existen intermediarios y el productor puede ofrecer su café en verde o molido directamente al consumidor.

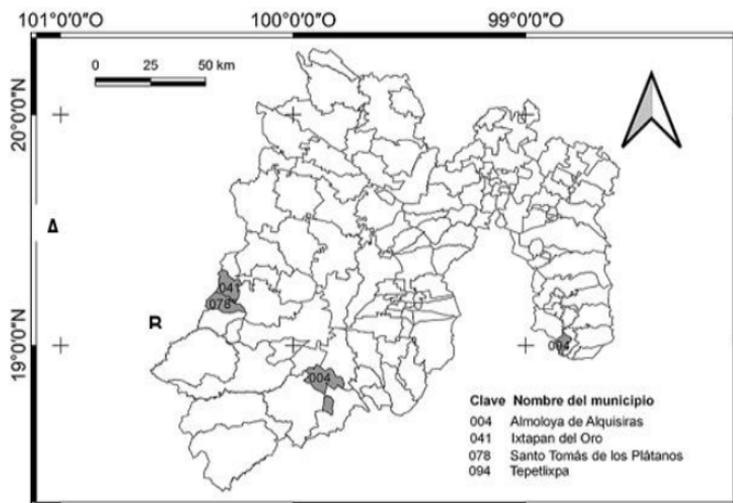
De esta manera, se tiene que el precio de venta del café en cereza en promedio ronda entre los \$10.00 y \$11.00 por kilogramo, para el café pergamino o en verde está entre los \$80.00 y \$100.00 pesos; el café molido oscila entre los \$180.00, \$200.00 y \$230.00 por kilogramo en promedio entre los cafecultores, de acuerdo a la información recabada en campo, en el 2021.

Cuadro 7. Superficie, producción y rendimiento de los principales municipios productores de café de la Región Cafetalera II de Malinalco, en el Estado de México

Entidad Federativa	Región Cafetalera	Municipios	Superficie (ha ⁻¹)			Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
			Sembrada	Cosechada	Siniestrada		
Estado de México	Malinalco	Malinalco	20	20	0	37	1.86
		Ocuilán	14	14	0	29	2.09
TOTAL			34	34	0	66	1.98

Fuente: Elaboración propia con base en la información de Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2022).

Figura 10. Ubicación geográfica del Estado de México que presenta otros municipios productores de café no reconocidos por la SIAP: Almoloya de Alquisiras (004), Ixtapan del Oro (041), Santo Tomas de los Plátanos (078) y Tepetlixpa (094)



Sin embargo, existen otras calidades de café, como es el café de la finca Biodoni, el cual cuenta con dos certificaciones: USDA ORGANIC por MayaCert Organic y Orgánico proporcionada mediante el SENASICA-SAGARPA, el cual lo distribuye como café 100% orgánico y el precio de venta es de \$350.00 por kilogramo ya sea como café lavado, natural, afrutado o honeys distribuido como café molido, de acuerdo a la información obtenida de las entrevistas realizadas a productores y de los informantes claves.

Ciertos productores, lo comercializan en \$300.00 por cada kilogramo de acuerdo a su marca comercial, calidad y/o nicho de mercado al que está dirigido. Y pocos cultivadores, ofertan café de especialidad cuyo precio puede ir desde los \$750.00 hasta los \$1,200.00 pesos, según la calidad de este. Asimismo, cinco productores realizan sus ventas de café a los Estados Unidos (California y Texas), por lo que venden desde los \$480.00 hasta los \$550.00 por cada kilogramo enviado a los destinos antes mencionados, de acuerdo a la información proporcionada directamente por los cafecultores.

Conclusiones

El principal país productor por más de cinco décadas es Brasil, mientras que México, ha estado ocupando entre las posiciones cinco y décimo lugar en los últimos 10 años. Debido a su inestabilidad en la producción de este grano, lo expone a ser más vulnerable y desplazado por otros países que no figuraban hace algunos años, tal situación implica la necesidad de generar estrategias que impulsen la producción y comercialización del café a mercados nacionales e internacionales.

México, cuenta con las condiciones edafoclimáticas propias para el desarrollo de la cafeticultura, sin embargo, su productividad de manera competitiva se ve frenada por varios factores como lo son: los problemas fitosanitarios, baja productividad de los cafetales, plantaciones viejas (> a 20 años), mínimas prácticas en el manejo del tejido vegetal, poca asesoría técnica especializada, nulo acompañamiento empresarial en el sector y en la mayoría de las veces poca participación por parte del productor, en la inclusión y mejora de la producción, lo que se ve reflejado en sus ingresos al no integrarse o formar parte de algún grupo, gremio o asociación cafetalera, el cual le brinde un mejor respaldo social, cultural y económico en beneficio propio y de su familia.

La entidad mexiquense, tiene una expectativa por la producción, calidad y venta de su café. Sin embargo, en los últimos años, se comercializa como “café mexiquense” y recientemente como “café de altura” (por su ubicación geográfica), el cual tiene una buena calificación en taza por arriba de los 80.0 puntos considerado como un café excelente (café de especialidad) por la Asociación de Cafés Especiales (SCA), por sus siglas en inglés.

Fuentes consultadas

- Canet Brenes, G.; Soto Viquez, C.; Ocampo Thomason, P.; Riveras Ramírez, J.; Navarro Hurtado, A.; Guatemala Morales, Ma. G. y Villanueva Rodríguez, S. (2016). *La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y el Caribe*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y el Centro de Investigación y Asistencia Tecnológica y Diseño del Estado de Jalisco, A.C (CIATEJ). Disponible en <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>.
- Cano Basave, Ma. E. (2016). *Los programas de combate a la pobreza con cafeticultores del municipio de Huehuetla, Hidalgo*. En A. González Romo, D. Duana Ávila y D. X. Gonzáles Gómez. (Ed), *España. El Proceso de pro-*

ducción cafetalero en la región vertiente del Golfo de México. (pp. 79-89) Plaza y Valdez S.A de C.V.

- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2014). *Producción y mercado del café en el mundo y en México.* Disponible en <https://www.cedrssa.gob.mx/>.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2018). *El café en México: Diagnóstico y perspectivas.* Disponible en <https://www.cedrssa.gob.mx/>.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). (2011). *El mercado del café en México.* Disponible en: <https://www.cepf.gob.mx/>.
- Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café. (CENACAFE) (2019). Plataforma de información. Disponible en <http://www.cenacafe.org.mx/plataformas.htm022019%2008.pdf>.
- Coello Manuell, J. (2012). *El café en México. Historia.* Disponible en <https://jaimecoellomanuell.wordpress.com/2012/02/22/el-cafe-en-mexico-historia/>.
- Didier Terrien, N. (2018). *Experiencias campesinas en cafeticultura orgánica.* Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café (CENACAFE). Huatusco, Ver. México. 103 p.
- Higuera Ciapara, I. y Rivera Ramírez, J. (2018). *Chiapas: problemática del sector cafetalero.* Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Disponible en <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx>.
- Instituto del Café de Costa Rica (ICAFAE). (2014). *Informe sobre la actividad cafetalera de Costa Rica.* Disponible en <https://www.icafe.cr>.
- International Coffee Organization (ICO). (2014). *World coffee trade (1963-2013): A review of the markets, challenges and opportunities facing the sector.* London, United Kingdom. Disponible en: <https://www.ico.org>.
- International Coffee Organization (ICO). (2022). *Datos históricos del comercio del café.* Disponible en: https://www.ico.org/es/new_historical_c.asp.
- Moguel, P. y M. Toledo, V. (1996). *El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad.* Rev. Ciencias. UNAM Núm. 43, 40-51. Disponible en <https://www.revistaciencias.unam.mx/es/185-revistas/revista-ciencias-43/1749-el-cafe-en-mexico-ecologia,-cultura-indigena-y-sustentabilidad.htm110>.

- Morales Ramos, V.; Escamilla Prado, E.; Muñoz Rodríguez, M.; Velázquez Morales, J. A. y Spinoso Castillo, J. L. (2021). *Perfiles de calidad del café de México*. Ed. Colegio de Posgraduados. Texcoco, Estado de México. 361 p.
- Partida, G.J; Rodríguez, B; García, F. y Pérez, E. (del 06 de septiembre del 2021 al 13 de febrero de 2022). *Cafecultura Integral Sustentable en México*. Curso: Universidad Autónoma Chapingo-Centro Regional Universitario del Oriente (CRUO) y el Centro Nacional de Investigación para el Desarrollo de las Regiones Cafetaleras (CENACAFE), Huatusco, Ver. México.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021). Consulta de datos estadísticos para el ciclo de producción. Disponible en <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). *Ganadores de la taza de excelencia, México 2021*. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/documentos/ganadores-taza-de-excelencia-2021>.

La cafeticultura del Estado de México en una perspectiva de largo plazo

J. Domingo Robledo Martínez¹, Salvador Díaz Cárdenas¹, Lucila Martínez Munguía¹, M. Susana Córdova Santamaría¹

Introducción

El análisis de la cafeticultura, más allá de la cadena productiva del café, permite ampliar la visión aplicada, en contenido y tiempo. En efecto, la cafeticultura se comprende como un proceso multidimensional, que ocurre en cada región y el país, donde se incluyen desde el territorio y el ambiente, la historia, la infraestructura económica, la cadena del café, otros productos y los servicios; los aspectos sociales y, sobre todo, los elementos culturales que otorgan, a los espacios regionales y nacionales, una identidad como ámbitos vinculados al café en primera instancia.

En este capítulo se realizó una revisión sistemática de los informes y reportes disponibles o que se participó en ellos, sobre la cafeticultura del Estado de México y sobre todo, se consideraron los resultados del *Diagnóstico y caracterización de la producción cafetalera en ocho municipios del Estado de México (2015)*, que se coordinó en el marco de las actividades del Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café (CENACAFÉ), ubicado en el Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), en Huatusco, Veracruz.

Como se explica en la metodología, se aplicó el método general de revisión sistemática, de los documentos e informes disponibles sobre el tema; así como, los métodos de Diagnóstico Rápido Participativo (DRP) y Diagnóstico de la Estructura Productiva de Cafetales (DEP), los cuales se explican de manera breve. En seguida se realiza una síntesis de la historia del café en Estado de México, en particular de la difusión de su cultivo. Luego se indican los tres grupos de estados productores de café, de acuerdo a superficie y volumen de producción; destacando el contraste entre un estado con producción muy baja del aromático, pero con premios obtenidos en el Certamen de Taza de Excelencia México. En la

¹ Profesor-Investigador. Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Huatusco-Jalapa. Correo electrónico: cenacafe2015@gmail.com, disalvar1@hotmail.com, lucy.cruo@gmail.com, scordovas@hotmail.com

quinta parte de este escrito se tratan el diagnóstico y las alternativas para la innovación de la cafeticultura, con base en el estudio referido. Por último, se incluyen a manera de conclusiones, elementos de análisis o perspectivas que se requieren considerar en estudios posteriores.

Metodología

Se aplicó en el presente capítulo el método general de revisión sistemática, que se concibe como aquella que es preparada mediante un proceso ordenado para minimizar los sesgos y los errores aleatorios. Es un proyecto de investigación secundaria, en el cual se incluyen los estudios primarios u originales de un mismo tema y son de carácter secundario, dado que compilan los resultados publicados que se obtuvieron a partir de otros estudios (Villasís *et al.*, 2020). Lo anterior como parte inicial del meta análisis, el cual se define como el análisis estadístico de la combinación de los resultados de dos o más estudios originales; estos últimos, debieron ser seleccionados a partir de una revisión sistemática.

Ciertamente, el meta análisis surgió y ha tenido mayor aplicación en áreas de la medicina, aunque ya se ha ampliado su aplicación, al ámbito de otras ciencias. De acuerdo con Villasís *et al.* (2020), se distinguen dos tipos de artículos de revisión: las revisiones narrativas y las sistemáticas. Las revisiones narrativas son documentos que se publican en la mayoría de las revistas de circulación periódica, describen un tema en particular, pero su integración no sigue un orden. También pueden ser capítulos de libros, como es el caso que nos ocupa. Por el contrario, el enfoque es muy específico en las revisiones sistemáticas, en las cuales se resume el estado del arte de la investigación sobre el tratamiento, el diagnóstico, los factores de riesgo o el pronóstico de una enfermedad o problema en particular.

La obtención de información de campo, consistió en la aplicación de los métodos de Diagnóstico Rápido Participativo (DRP) y Diagnóstico de la Estructura Productiva de Cafetales (DEP). Estos dos métodos se utilizaron ampliamente en el Plan de Innovación en la Cafeticultura de México y los planes realizados para 12 estados cafetaleros.

En el DRP se trabajó bajo el esquema de talleres grupales participativos, con la finalidad de obtener un diagnóstico que sirvió para definir la situación actual en la cafeticultura de la comunidad, municipio o región de donde provienen los participantes. En total se llevaron a cabo en México, 1,575 talleres de DRP, con la participación de 53,495 cafeticultores. Estos productores fueron beneficiarios del programa de Fomento Pro-

ductivo 2010, que comercializaron café en los ciclos 2008 y 2009 y resultaron elegibles para la Estrategia de Innovación en Cafeticultura. Por lo menos el 60% de los participantes en los talleres fueron productores elegibles y el resto fueron productores con folio en el Padrón Nacional Cafetalero (PNC) y que mantienen la producción de café.

El procedimiento consiste en que, antes de dar inicio al taller, cada uno de los participantes se registró en una lista de asistencia, proporcionada por el técnico, en la cual anotaron sus datos generales, como nombre, apellidos, organización, superficie del predio, firma, entre otros datos.

Para dar inicio al taller el facilitador se presenta ante el grupo y describe el propósito del taller y el papel a desempeñar de cada actor en el mismo, seguido de la presentación de cada participante, mencionando su nombre, comunidad a la que pertenece y lo que esperaba del taller. Los DRP se realizaron en cuatro etapas, que a continuación se describen:

- 1ª etapa: Lluvia de ideas para valorar los cafetales y conocer beneficios y limitantes generales del café. Las preguntas a resolver son: ¿Qué tenemos para producir café?, ¿Qué tenemos a favor de la producción de café?, ¿Qué dificultades tenemos para producir café?
- 2ª etapa: Problemática ordenada y priorizada. En esta etapa, los participantes forman equipos y escriben en una hoja sus problemas a manera de listado. Después se realiza una matriz para priorizar los problemas, la cual permitió, a través de la participación de todos los asistentes, anotar qué problemas son los más importantes, en un orden de prioridad.
- 3ª etapa: Alternativas de mejora. De la misma manera que las etapas anteriores, los participantes responden una pregunta por cada problema. Las preguntas son las siguientes: ¿Cuáles son las causas del problema, por qué se presenta?, ¿En que afecta o qué consecuencias provoca el problema al cultivo de café? y ¿Qué alternativas de solución se pueden dar al problema?
- 4ª etapa: Jerarquización de alternativas de mejora. Al finalizar el cuadro de “problema, causa, efecto y alternativas”, se integraron las alternativas en propuestas y actividades agrupadas, de manera que permitieran la planeación y organización de dichas alternativas, para su aplicación. Posteriormente se pregunta al grupo si consideraban que las alternativas quedaron priorizadas a la par del orden de los problemas, si no era así, el orden de las alternativas se

cambia a través de la votación de los participantes, para que queden acomodadas de mayor a menor orden de importancia.

Diagnóstico de la Estructura Productiva (DEP)

El DEP permitió obtener información actual y verificable del estado en que se encuentran las plantaciones de café, para proponer acciones de innovación en el manejo integral de las mismas, adecuado a las características propias de los sistemas de cultivo. La guía y formatos del DEP se componen de seis cédulas de información, que el técnico registró al momento de levantar el diagnóstico en el sitio.

En una de las cédulas se encuentra el formato donde se registran los datos de las categorías de la estructura productiva: 1. Cafetos normales; 2. Cafetos que requieren poda, 3. Cafetos que requieren recepa, 4. Cafetos que requieren renovación, 5. Cafetos pre-productivos y 6. Fallas físicas. Este apartado contiene el número de sitios en los que se dividió el total de plantas a muestrear.

El porcentaje muestreado de plantas está calculado para que se cubra entre el 3 y 4% del total. La confiabilidad estadística es bastante alta, y está basada en el cálculo original de INMECAFÉ (1990) el cual propuso el 1.5% de plantas a muestrear, desde aquella fecha. Con la información generada en los Diagnósticos Rápidos Participativos y de la Estructura Productiva se generó una base de datos disponible en el sector cafetalero para la toma de decisiones presentes y en el futuro mediano.

Dinámica de la Cafeticultura del Estado de México

La dinámica del café en el Estado de México, deviene en sus inicios, de la expansión tardía del aromático en las regiones propicias para su cultivo, como se indica por Pérez y Díaz (2000) y la participación estatal en el periodo de auge (1962-1989); así como, la primera crisis de precios reciente, se destacan por Santoyo, Díaz y Padrón (1996). En efecto, el Instituto Mexicano del Café (INMECAFÉ) operó de 1958 a 1993 y al liquidarse en éste último año, se creó el Consejo Mexicano del Café (CMC), con menores actividades y a partir de 2006, se cambia por la Asociación Mexicana del Café (AMECAFÉ, A.C.), para coordinar el Comité Nacional del Sistema Producto Café, como se mantiene hasta la fecha del presente estudio. La amplia participación estatal y los Convenios Internacionales del Café, animó a muchos pequeños productores, en su mayoría indígenas, a incorporarse al cultivo de café. En este periodo, el café se “campesiniza” con alto matiz indígena. El Estado de Mé-

xico se mantuvo al margen de estas derivaciones nacionales, resaltando su importancia social, hacia finales del siglo XX; pero su importancia ambiental se manifiesta a través de la composición de la sombra en las plantaciones, donde predomina la sombra diversificada, seguida del uso de árboles de sombra especializada.

El Estado de México, como otras entidades y regiones, tienen su historia respecto a la difusión del cultivo del café en las tierras aptas para la producción del aromático y también han desarrollado una estrategia de beneficiado y comercialización, a partir de las condiciones prevalecientes. A los tres lugares de introducción del café en México, siguió una segunda etapa de expansión del cultivo, en las regiones aledañas a estos lugares pioneros en el cultivo de la rubiácea. Un tercer periodo de distribución del cultivo del café, lo constituyen dos procesos simultáneos: a) los jornaleros y peones de los ranchos y haciendas cafetaleras; paulatinamente se llevaron semillas que hacían germinar y crecer en sus huertos y solares y; b) las áreas identificadas como propicias para el cultivo de cafetos, por promotores del aromático, como lo fue Matías Romero, durante una parte del Porfiriato, a finales del siglo XIX y principios del veinte (Bartra, Cobo y Paredes, 2013; Cruz y Díaz, 2009; Akaki, 2016).

La difusión del cultivo del café en México ha sido intensa dadas las características geográficas del país, se ha producido hasta en estados como Coahuila, Durango, Tamaulipas, Estado de México, Morelos (Córdova, 2005) y otras entidades con microclimas propicios para el desarrollo de los cafetos.

Un proceso quizá poco estudiado, que permanece de manera transversal y hasta paralelo a la difusión tradicional del café en el paisaje cafetalero mexicano, es el que han llevado a cabo, en los más de doscientos años de presencia del café en México, personas en lo individual que conocen el cultivo, transformación y preparación de la bebida de café; de manera que, en microclimas con potencial para la propagación de cafetos, no dudan en llevar semillas y plantas e iniciar el cultivo del café. A este proceso permanente de difusión de especies útiles, no exclusivo del café, corresponde la introducción y expansión de la cafeticultura en el Estado de México.

Como se relata en el Plan Rector del Sistema Producto Café en el Estado de México (Alma Natural, 2014), la historia del café en la entidad se remonta a hace más de cien años. “Nadie sabe con certeza como llegó el café al Estado de México; los testimonios recogidos ubican su antecedente más antiguo hacia finales del siglo XIX o principios del XX, cuando quizá uno de los sacerdotes de Amatepec de apellido Sánchez y

presuntamente originario del estado de Puebla, fue quien introdujo su producción en la región, principalmente para su autoconsumo. El Sacerdote dejó la región y sus propiedades fueron vendidas a campesinos locales por sus sucesores” (pág. 46).

En continuación de este proceso, se señala a algunos productores de la población de Amatepec como los promotores del cultivo en la región, Don Abel Domínguez y Don Diódoro Morales. Cuentan los familiares de Don Diódoro, que él mandó al peón a limpiar su terreno, y cuando fue a ver sus trabajos encontró que había en la huerta unas plantas que no había cortado el peón. Cuando le pidió que las retirara fue el peón, quien había trabajado con el sacerdote, el que le enseñó el valor de éstas matas e incluso como beneficiar la cereza.

De los antecedentes de principios del siglo XX, los documentos a que se logró tener acceso no explican la dinámica de la producción de café en el Estado de México, durante casi 90 años; sino hasta el 2005 que a través del Centro regional Universitario Oriente dependiente de la Universidad Autónoma Chapingo (CRUO-UACH-CENACAFÉ, 2015), se realizó un primer reconocimiento productivo en el marco del curso Optativo: cafeticultura integral sustentable en México. El estudio de campo se centró en el municipio de Amatepec y Malinalco, encontrando que la producción es de tipo familiar, con predominancia de variedades criollas cultivadas en sistema bajo sombra, con un manejo técnico limitado, un sistema de beneficiado deficiente en su mayoría por la vía seca, destinado principalmente al mercado local con una buena aceptación a través de marcas locales de café tostado y molido. Hoy en día la información sobre el sector cafetalero del Estado de México ha cobrado mayor relevancia donde de manera particular algunos grupos organizados y no organizados han ido documentando y generando información importante sobre este sistema de producción se cuenta actualmente con un Plan Rector del Sistema Producto Café en el Estado de México, 2014 y diagnóstico de las principales plagas y enfermedades a socios de la organización Café Orgánico de Amatepec (CAFOA), 2014. Estos documentos han aportado información valiosa e importante lo que ha generado un interés por integrar datos más contundentes para la toma de decisiones en campo.

El Estado de México como productor de café

Al incluirse como estado productor de café y con representación en el Sistema Producto en 2015, los productores de café del Estado de Méxi-

co, son elegibles en los programas oficiales. Es el caso de la política del sexenio actual (2018-2024), donde se mantiene, por un lado, la continuidad en la operación de subsidios, mediante el Sub-Componente de Sustentabilidad y Bienestar para Pequeños Productores de Café (SUBI-CAFÉ), que contiene cuatro incentivos: 1) Adquisición y establecimiento de plantas producidas en viveros comunitarios acreditados y con material genético certificado por la autoridad competente; 2) Mejora de la Productividad para pequeños productores (insumos de nutrición y fungicidas orgánicos y convencionales, así como equipo menor de manejo postcosecha, como despulpadoras); 3) Promotoría social con capacitación, asistencia técnica y formación de sujetos de crédito con pequeños productores de café y 4) Certificación que agregue valor a la cosecha de los pequeños productores (SADER, 2019). Por otro lado, se decide distribuir un monto fijo de cinco mil pesos (250 dólares), por cada pequeño productor, bajo un procedimiento asistencialista, que no contribuye al desarrollo de la cafecultura.

En México, un agrupamiento de los estados con producción de café registrada, se integran tres niveles de participación, de acuerdo a la superficie ocupada y el volumen de producción de café cereza (Anexo 1). Un primer grupo se ha denominado los estados principales en la producción de café: Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla; los cuales cubren el 84.8% de la superficie cultivada y cosechada con cafetos; el 89.9% del volumen nacional de café cereza y tienen un rendimiento promedio de 6.72 quintales/ha (Tabla 1 y Figura 1). Oaxaca es la entidad con menor rendimiento (3.08 quintales/ha) y la entidad con mayor producción en campo, es Puebla, donde se obtuvieron 9.94 quintales/ha.

El segundo grupo toma una distancia significativa del primero y se trata de estados con más de 2 500 ha de superficie cosechada, pero en conjunto (Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Colima) aportan apenas el 15% de la superficie cultivada y cosechada de café; el volumen de producción se reduce al 10 % nacional y el rendimiento promedio disminuye a 4.24 quintales/ha (Figura 2 y Tabla 1). Los estados de Hidalgo y San Luis Potosí, tienen las menores producciones por hectárea del aromático.

El tercer grupo está integrado por cinco entidades: Estado de México, Tabasco, Querétaro, Morelos y Michoacán; con una aportación mínima de solo el 0.16% de la superficie cultivada, el 0.18 % de la superficie cosechada y en el volumen de producción, apenas registran el 0.12 %, con un rendimiento intermedio nacional de 6.0 quintales por hectárea (Figura 3 y Tabla 1).

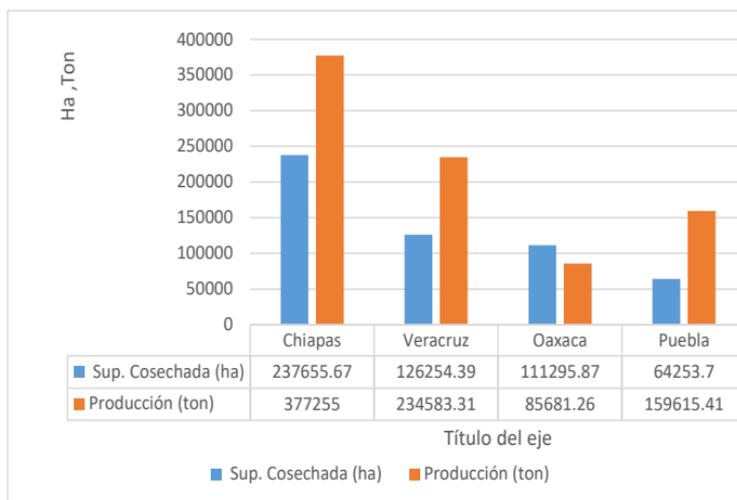
Tabla 1. Grupos de estados de acuerdo a superficie y volumen de producción de café cereza en México (2020)

Estados	Sup. Cultivada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (ton)	Rend. (ton/ha)	PMR (\$)	Valor Producción (miles pesos)
Principales estados:						
Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla.	602215.53	539459.63	857134.98	1.675	5380.68	4528069.76
%/Promedio	84.77	84.82	89.88	1.68	5516.14	88.17
Pequeña producción:						
Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Jalisco, Colima.	107082.78	95435.5	95411.31	1.06	6220.04	599052.88
%/Promedio	15.073	15.01	10.00	1.06	6 220.04	11.66
Producción marginal:						
Estado de México, Tabasco, Querétaro, Morelos, Michoacán*.	1147.96	1123.46	1187.61	1.49	6737.694	8979.86
%/Promedio	0.16	0.18	0.12	1.49	6533.97	0.17
Total o Promedio México	710431.27	636003.59	953682.9	1.5	5385.27	5135835.62

Nota. Los datos de Michoacán corresponden al 2019, ya que en 2020, no se registra producción de café en esta entidad.

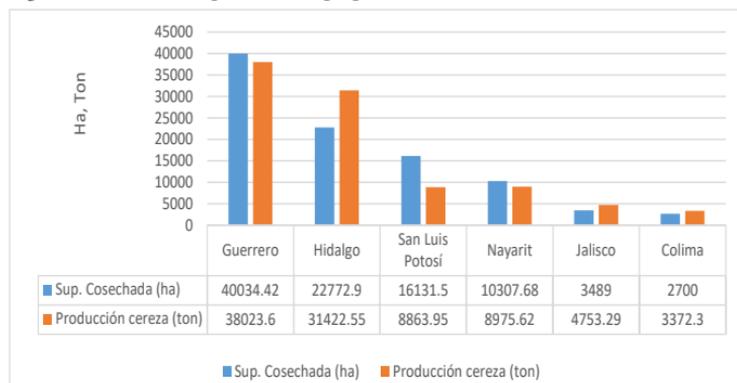
Fuente. SIAP-SADER, 2022 (datos del 2020).

Figura 1. Principales estados productores de café en México



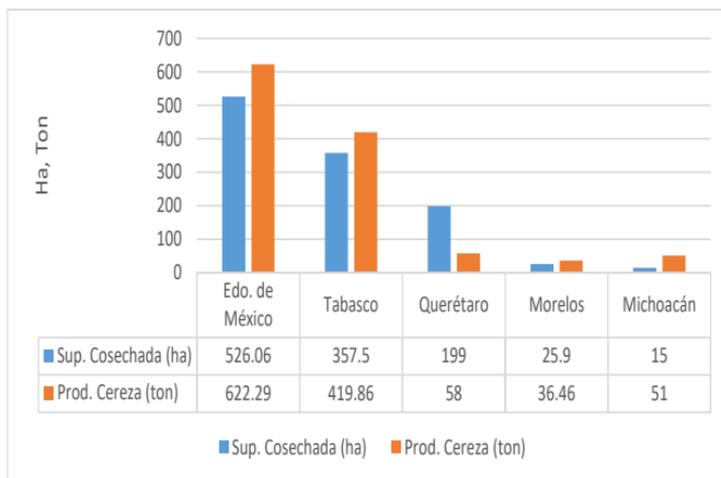
Fuente. SIAP-SADER, 2022 (datos de 2020).

Figura 2. Estados con producción pequeña de café en México



Fuente. SIAP-SADER, 2022 (datos de 2020).

Figura 3. Estados con producción marginal de café en México



Fuente. SIAP-SADER, 2022 (datos de 2020).

Aquí se tiene el caso de Michoacán, del cual no se tienen registros de producción en 2020 y se consideran los datos del año anterior.

El comparativo de estados y sus aportaciones en la cafeticultura nacional, no implican propósitos como disminuir la importancia del cultivo y cosecha de café; sino que, en el análisis de los problemas y generación de alternativas, se deben considerar las dimensiones de los problemas, que van de la mano de la extensión de superficie cultivada y cosechada del aromático.

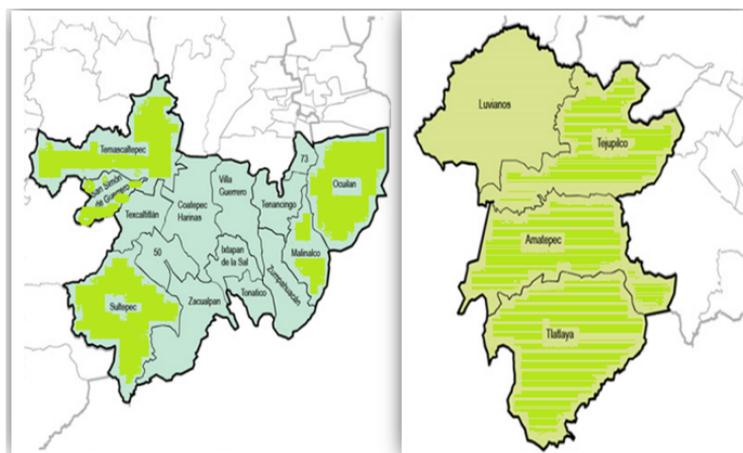
Diagnóstico y alternativas para la innovación de la cafeticultura en el Estado de México

Con el fin de generar un documento de diagnóstico y caracterización integral de la cafeticultura en el Estado de México, que permita la implementación de un programa de desarrollo integral basado en líneas estratégicas y proyectos identificados; se realizó este estudio que significa el establecimiento de un plan de innovación para la cafeticultura de la entidad (SAGARPA-CRUO-UACH_CENACAFÉ, 2015). Cabe mencionar que el análisis se realizó para los ocho municipios que producen café en el estado y en plena incidencia de la roya del café, que afectó de manera importante la cafeticultura nacional.

En el diagnóstico de plantaciones ya se detectó la presencia de esta enfermedad; pero no con el impacto que tuvo en otras regiones cafetaleras. Un conjunto de métodos y herramientas se aplicaron en el estudio completo, estos son a saber: 1) Identificación y caracterización de las regiones productoras de café del Estado de México; 2) Aplicar el Diagnóstico Rápido Participativo (DRP) para conocer la situación actual de los productores; 3) Diagnóstico de la Estructura Productiva (DEP), para conocer el estado productivo de las fincas de café; 4) Diagnóstico fitosanitario, para identificar la presencia y daños de plagas y enfermedades; 5) Estimación de cosecha, para establecer los rendimientos por planta y por unidad de superficie; 6) Definición de líneas estratégicas, proyectos e innovaciones.

Los municipios y comunidades donde se cultiva el café, tienen climas adecuados para el aromático, predominado el templado subhúmedo y el semicálido subhúmedo, en altitudes significativas de 1500 a 2300 msnm

Figura 4. Regiones y municipios productores de café en el Estado de México

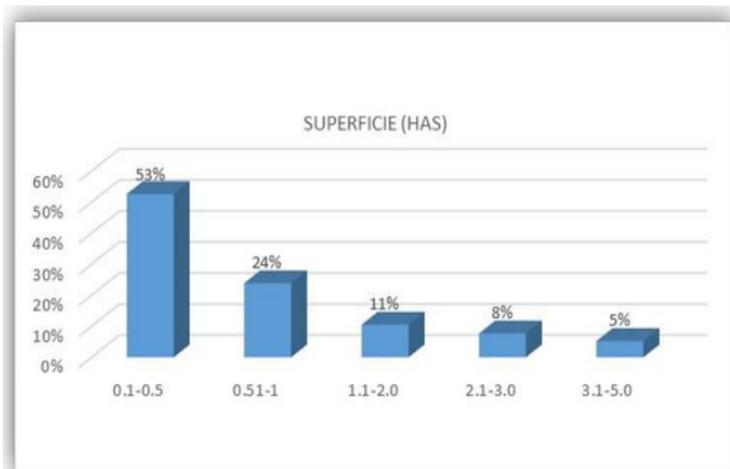


Región VI. Ixtapan. Municipios: Tenancingo, Villa Guerrero, Coatepec de Harinas e Ixtapan de la Sal

Región X. Tejupilco. Municipios: Amatepec, Tejupilco y Tlatlaya

y con precipitación limitada para el desarrollo de los cafetos, entre 800 a 1600 mm anuales, en la mayor parte de los municipios cafetaleros (Figura 4).

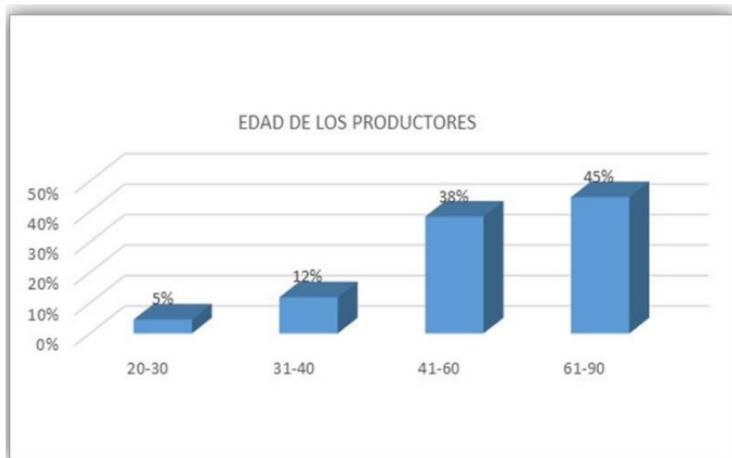
Figura 5. Superficie (has) de café por productor en el Estado de México



Fuente. SAGARPA-CRUO-UACH_CENACAFÉ, 2015.

El café es un cultivo de autoconsumo y se encuentra principalmente como traspatio en las comunidades. Es así que las superficies por productor son en su mayor parte de menos de 0.5 hectáreas (53%) y sólo llegan a cultivar hasta 5.0 ha por familia (Figura 5).

Figura 6. Edad de los cafeticultores en el Estado de México



Fuente. SAGARPA-CRUO-UACH_CENACAFÉ, 2015.

Los productores que se dedican a la actividad son en su mayoría, personas mayores de entre 40 y 60 años (38%) y de más de 60 años (45%), por lo que no existe un relevo generacional y se dedican al cultivo de café por tradición (Figura 6).

Las dos regiones cafetaleras del Estado de México se localizan en la región sur-sureste de la entidad en el sistema montañoso formado por el volcán del Xinantencatl o Nevado de Toluca, formando parte de la cuenca hidrológica del Balsas, colinda con los estados de Guerrero y Morelos.

El café se produce en 8 municipios, generalmente en comunidades que cuentan con microclimas propicios para su desarrollo, los sistemas predominantes son el policultivo tradicional que representa el 52% de

Figura 7. Sistemas de Producción de café en el Estado de México



Fuente. SAGARPA-CRUO-UACH_CENACAFÉ, 2015.

la superficie y el sistema de policultivo comercial que representa el 27% de la superficie total (Figura 7). Generalmente son cultivos de traspatio que han ido evolucionando conforme se incrementa la superficie para los otros cultivos principalmente el aguacate.

En el Estado de México, se han encontrado únicamente variedades de la especie arábica, la que predomina es la típica, y durante los últimos

treinta años se introdujeron a la región otras variedades como caturra rojo y caturra amarillo, garnica, pacamara y bourbon.

Las variedades presentes en los cafetales son los siguientes: criollo o típica que ocupa un 62.8% de los cafetales, Caturra que ocupa un 27.5%, Garnica que ocupa un 5%, Pacamara con un 2.3% y los Catimores oro azteca y Colombia, que ocupan cada uno un 0.7%, en menor proporción encontramos cafetales con las variedades Mundo Novo, Bourbon y Costa Rica con un 0.3% cada uno.

En términos generales los productores de café aplican un sistema de manejo tecnológico, adaptado para el manejo de los cafetales en policultivo de café, con aguacate y otras especies útiles. La práctica principal que se lleva a cabo es el chapeo con machete, son escasos los productores que llevan a cabo la fertilización del cafetal y el control de plagas y enfermedades o cuando lo hacen es como parte de la nutrición y control al cultivo de aguacate. También se renuevan los cafetales con 95% de plantas que nacen en el cafetal y la densidad de plantación es muy baja, donde el 44% establece a 2x2 m las plantas de café y el 48% planta a espacios mayores hasta 5x5 m. Este distanciamiento obedece a la intercalación del café, con otras especies.

Diagnóstico de la estructura productiva

El conocimiento pleno del estado que guardan las plantas en las parcelas se obtuvo a través del diagnóstico de estructura productiva, el cual se obtiene por medio de un proceso metodológico simple pero efectivo, que requiere ciertas habilidades de campo que permitan reconocer las características de una planta de café en cuanto a su condición productiva se refiere.

El objetivo de realizar el Diagnóstico de la Estructura Productiva (DEP) es conocer el estado vegetativo que guardan las plantas dentro de los predios, en conjunto con otros elementos, como la situación socio económica del productor, la ubicación del predio, el manejo técnico agronómico del cafetal, variedades presentes y tipo de sistema de cultivo predominante. El resultado del análisis de estos indicadores nos da como resultado el estado productivo de las plantaciones, el cual es fundamental para la toma de decisiones dentro de las propias parcelas. Los resultados obtenidos, por categoría de cafetos, son los siguientes para el Estado de México:

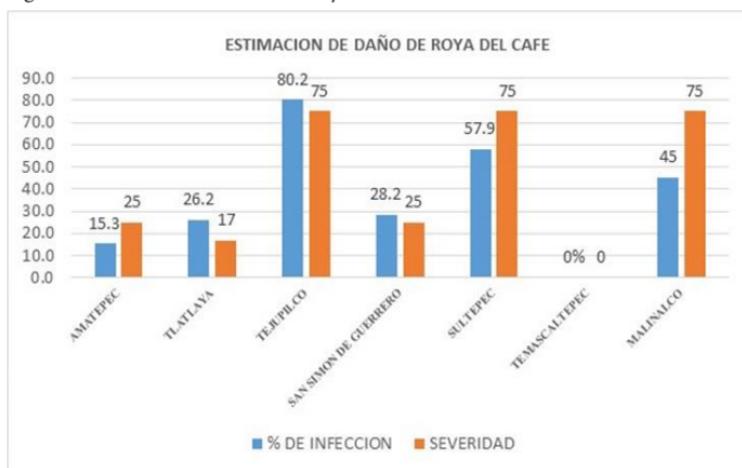
1. Cafetos normales ...39%
2. Cafetos que requieren poda ... 27%

3. Requieren recepa.....11%
4. Se requiere renovación... 5%
5. Plantas preproductivas... 12%
6. Fallas físicas.... 6%.

Este resultado indica que solo se cuenta con el 39% de tejido de los cafetos en condiciones de obtener una producción aceptable. La proporción de plantas que requieren poda, obliga a un proceso de renovación del tejido productivo, mediante podas sanitarias y de renovación. La proporción de plantas preproductivas, indican un proceso insuficiente de renovación de los cafetales.

Uno de los problemas que estaba en su apogeo, cuando se realizó este estudio, fue el ataque de la roya del café y de acuerdo al muestreo realizado en todo el Estado de México, se obtuvo un 36.1% de infección y una severidad del 41.7%. Un recuento por municipio, muestra que el grado de infección y severidad de la roya del cafeto tuvo diferente daño. Así, en Temascaltepec aún no se observaron daños en las hojas de los cafetos, se presume que aún no había llegado la enfermedad a este municipio. En el caso de Tejupilco es donde se observaron grados muy altos de infección de 80.2% y un 75% de severidad. En Sultepec y Malinalco también se obtuvieron grados altos de infección y severidad. Se recomendó que se estableciera una estrategia de control para evitar que desaparezcan las pocas plantaciones que existen en estos dos municipios. En otros municipios como Amatapec y Tlatlaya se estuvo

Figura 8. Estimación de daño de roya en cafetales del Estado de México



Fuente. SAGARPA-CRUO-UACH_CENACAFÉ, 2015.

controlando la roya con aplicación de productos químicos como Alto 100, por lo que se observan porcentajes de infección del 15.3 y 26.2 % respectivamente, sin embargo, se debe continuar con el control y aplicar un manejo integrado, no solo productos químicos (Figura 8).

La realización del Diagnóstico Rápido Participativo (DRP) tuvo como propósito obtener de manera directa, la situación actual de la producción de café, sus problemas y propuestas; así como su sistema de producción, tomando como núcleo de análisis la integración municipal de productores.

La realización de estos talleres se fundamentó en las bases de la Planeación Participativa y consistió en tres momentos principales de la formación: el análisis del contexto de los productores, el análisis de problemática en sus sistemas de producción y el análisis de las alternativas de solución.

Después de realizar la valoración de los recursos disponibles para impulsar la cafeticultura por municipio, se integraron los resultados para todo el estado. Siendo las tres situaciones de mayor relevancia (Tabla 2 y Anexo 2), la presencia de plagas y enfermedades; la falta de agua y depósitos para su almacenamiento y; el escaso manejo que se proporciona a los cafetales.

Tabla 2. Priorización de la problemática identificada en la cafeticultura del Estado de México

Problemática	Factor de importancia estatal	Prioridad estatal
Plagas y enfermedades	6.58	1
Falta de agua	5.15	2
Falta de manejo en el cafetal	2.50	3
Falta de gestión de recursos (apoyos)	2.49	4
Falta de Asesoría técnica y capacitación especializada	2.15	5
Bajo rendimiento y producción	2.05	6
Falta de mercado para el café	1.83	7
Plantaciones viejas	1.72	8
Falta de consumo	1.72	9
Falta de abonos y fertilizantes	1.43	10

Fuente. SAGARPA-CRUO-UACH_CENACAFÉ, 2015.

En el anexo 3 se presentan las alternativas identificadas de manera completa, de las cuales las 10 priorizadas como de mayor importancia se incluyen en la tabla 3. Sobresale el problema de la roya del cafeto y se generalizó como problemas fitosanitarios; seguido de las alternativas a la problemática del agua y, la asistencia técnica requerida para mejorar el manejo de las plantaciones.

Tabla 3. Alternativas de mejora en la cafeticultura del Estado de México

Alternativa	Factor de importancia estatal	Prioridad estatal
Asistencia técnica en problemas fitosanitarios y estrategias de control	6.34	1
Establecimiento de infraestructura de sistemas de riego (pozos, cisternas, mangueras, cintillas)	6.11	2
Asistencia técnica en manejo de cafetales	5.79	3
Programa de adquisición de insumos	4.56	4
Asistencia técnica en nutrición de cafetales para aumentar la producción	3.73	5
Promoción del café del Estado de México (Desarrollo de marca, difusión, publicidad y ruta del café)	3.12	6
Programa de Control de plagas y enfermedades	2.73	7
Asistencia técnica a los productores para recuperar veneros, manantiales y preservar la humedad en el cafetal.	2.38	8
Asistencia técnica en establecimiento y manejo de viveros	2.29	9
Vinculación con autoridades locales, estatales y federales	2.11	10

Fuente. SAGARPA-CRUO-UACH_CENACAFÉ, 2015.

Conclusiones

El análisis de la cafeticultura requiere que se apliquen un conjunto de métodos y procedimientos, con el fin de acercarse a un estudio más in-

tegral y si a ello se adiciona, una visión de largo plazo, los resultados posibilitan la propuesta de alternativas a la problemática.

Los elementos de la dinámica estatal de la cafeticultura, permiten afirmar que existe un vacío de información generada, por lo menos en la segunda mitad del siglo XX; siendo este un tema para un estudio específico.

El Estado de México destaca porque ha existido un interés por mejorar la producción de café y se han buscado cursos y talleres de capacitación; a la vez que se logró el reconocimiento como estado productor de café.

En los DEP aplicados por municipio y luego integrado para las dos regiones productoras de café, se encontró que en promedio el 39% de las plantas de café, están en condiciones de producción normal y este es uno de los factores que causan los bajos rendimientos en la entidad.

Los DRP integrados para el estado, señalan la problemática del bajo manejo de las plantaciones y la necesidad de su mejoramiento, destacando los problemas fitosanitarios y la problemática del agua. Asistencia técnica y mecanismos de captación y cuidado del agua, están entre las alternativas planteadas.

Fuentes consultadas

- Alma Natural, S.C. DE R.L. DE C.V. (2014). *Plan Rector del Sistema Producto Café en México*. Distrito Federal, México. 70 p.
- AMECAFÉ/SAGARPA-SIAP, (2011). *Actualización del padrón nacional cafetalero*. México, D.F.
- Bartra Vergés, A.; Cobo, R. y Paz Paredes, L. (2013). *La hora del café. Dos siglos a muchas voces*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). CDMX. 240 p.
- Córdova Santamaría, S. (2005). *Café y sociedad en Huatusco, Veracruz. Formación de la cultura cafetalera (1870-1930)*. CONACULTA-UACH. México, D.F. 451 p.
- CRUO-UACH-CENACAFÉ, (2015). *Reporte del Curso Taller: Cafeticultura Integral Sustentable y Planeación Participativa*. Huatusco, Ver. 22 y 23 de octubre, 2015. 9 p.
- Cruz León, A.; Díaz Cárdenas, S. (2009). *Matías Romero un promotor del cultivo del café en el México del siglo XIX*. Revista de Geografía Agrícola, núm. 43, julio-diciembre, 2009, pp. 103-108. Universidad Autónoma Chapin-go. Texcoco, México.

- INMECAFÉ. (1990). *El cultivo del café en México*. Xalapa, Veracruz. La Fuente. 248 pp.
- Pérez Akaki, P. (2013). *Los siglos XIX y XX en la cafeticultura nacional: de la bonanza a la crisis del grano de oro mexicano*. Revista de Historia N.º 67 • ISSN: 1012-9790. Enero - Junio 2013 • pp. 159-199
- Pérez Pérez, J. R. y Díaz Cárdenas, S. (2000). *El café, bebida que conquistó el mundo*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 152 p.
- SADER, 2019. *Sub-Componente de Sustentabilidad y Bienestar para Pequeños Productores de Café (SUBICAFÉ)*. Convocatoria, 2019. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/509891/convocatoria_SUSTENTABILIDAD_Y_BIENESTAR_PARA_PEQUEOS_PRODUCTORES_DE_CAF__12112019_.pdf
- SAGARPA-CRUO-UACH_CENACAFÉ. (2015). *Diagnóstico y caracterización de la producción cafetalera en ocho municipios del Estado de México*. Huatusco, Ver. 44 p.
- SIAP-SADER, (2022) (datos de 2020). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON-NG)*. Módulo Agrícola Estatal. Obtenido: 21 de marzo, 2022. <https://nube.siap.gob.mx/index.php/s/Nt0tHGfxl21vkl5/download>
- Santoyo Cortés, V. H.; Díaz Cárdenas, S. y Rodríguez Padrón, B. (1996). *Sistema agroindustrial café en México. Diagnóstico, problemática y alternativas*. UACH/CIESTAAMSAGAR-INCA Rural. Chapingo, Edo. de Méx. 157 p.
- Villasís-Keever M.A.; Rendón-Macías M.E., García H, Miranda-Navales MG, Escamilla-Núñez A. (2020). *La revisión sistemática y el metaanálisis como herramienta de apoyo para la clínica y la investigación*. Rev Alerg Mex. 67(1):62-72

Anexo 1. Estados cafetaleros de México, agrupados por superficie y volumen de producción de café cereza (2020).

Estados	Sup. Cultivada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (ton)
Chiapas	253,318.32	237,655.67	377,255.00
Veracruz	144,598.39	126,254.39	234,583.31
Oaxaca	134,647.22	111,295.87	85,681.26
Puebla	69,651.60	64,253.70	159,615.41
Principales estados	602,215.53	539,459.63	857,134.98
%/Promedio	84.77	84.82	89.88
Guerrero	45,555.80	40,034.42	38,023.60
Hidalgo	23,094.50	22,772.90	31,422.55
San Luis Potosí	16,149.30	16,131.50	8,863.95
Nayarit	16,090.18	10,307.68	8,975.62
Jalisco	3,489.00	3,489.00	4,753.29
Colima	2,704.00	2,700.00	3,372.30
Pequeña producción	107,082.78	95,435.50	95,411.31
%/Promedio	15.07	15.01	10.00
Edo. de México	549.06	526.06	622.29
Tabasco	357.5	357.5	419.86
Querétaro	199	199	58
Morelos	27.4	25.9	36.46
Michoacán	15	15	51
Producción marginal	1147.96	1123.46	1187.61
%/Promedio	0.16	0.18	0.12
Total o Promedio México	710431.27	636003.59	953682.9

Continúa

Anexo 1. Continuación

Estados	Rendimiento (to/ha)	PMR (\$)	Valor Producción (miles pesos)
Chiapas	1.59	4,838.83	1,825,474.56
Veracruz	1.86	5,666.07	1,329,166.60
Oaxaca	0.77	5,209.84	446,386.04
Puebla	2.48	5,807.98	927,042.56
Principales estados	1.68	5,380.68	4,528,069.76
%/Promedio	1.68	5,516.14	88.17
Guerrero	0.95	6,522.41	248,005.70
Hidalgo	1.38	6,120.12	192,309.64
San Luis Potosí	0.55	6,272.34	55,597.73
Nayarit	0.87	5,873.53	52,718.62
Jalisco	1.36	5,908.85	28,086.47
Colima	1.25	6,622.99	22,334.72
Pequeña producción	1.06	6,220.04	599,052.88
%/Promedio	1.06	6 220.04	11.66
Edo. de México	1.18	7,756.32	4,826.68
Tabasco	1.17	7,686.50	3,227.26
Querétaro	0.29	8,570.00	497.06
Morelos	1.41	4,442.95	161.99
Michoacán	3.4	5,232.70	266.87
Producción marginal	1.49	6,737.69	8,979.86
%/Promedio	1.49	6,533.97	0.17
Total o Promedio México	1.5	5385.27	5135835.62

Fuente. SAGARPA-SIAP, 2022 (datos del 2020).

Anexo 2. Priorización de la problemática identificada en la cafeticultura del Estado de México (2015).

Problemática	Factor de importancia estatal	Prioridad estatal
Plagas y enfermedades	6.58	1
Falta de agua	5.15	2
Falta de manejo en el cafetal	2.50	3
Falta de gestión de recursos (apoyos)	2.49	4
Falta de Asesoría técnica y capacitación especializada	2.15	5
Bajo rendimiento y producción	2.05	6
Falta de mercado para el café	1.83	7
Plantaciones viejas	1.72	8
Falta de consumo	1.72	9
Falta de abonos y fertilizantes	1.43	10
Precios bajos	0.95	11
Degradación de la tierra	0.86	12
no tenemos donde almacenar agua	0.86	13
Falta de riego	0.86	14
Falta de mano de obra	0.69	15
Altos costos de producción	0.57	16
Proceso deficiente (mala calidad del café)	0.56	17
Poca planta nueva	0.43	18
Falta de investigación	0.34	19
Malas prácticas de cosecha	0.29	20
Mal marco de plantación	0.29	21
Falta de tecnología en transformación	0.29	22
Falta de dinero	0.29	23
Motivación	0.25	24
Falta de tecnología en campo	0.21	25
Suelo no apto	0.16	26

Fuente. SAGARPA-CRUO-UACH_CENACAFÉ, 2015.

Anexo 3. Alternativas de mejora estatales, en la cafeticultura del Estado de México (2015).

Alternativa	Factor de importancia estatal	Prioridad estatal
Asistencia técnica en problemas fitosanitarios y estrategias de control	6.34	1
Establecimiento de infraestructura de sistemas de riego (pozos, cisternas, mangueras, cintillas)	6.11	2
Asistencia técnica en manejo de cafetales	5.79	3
Programa de adquisición de insumos	4.56	4
Asistencia técnica en nutrición de cafetales para aumentar la producción	3.73	5
Promoción del café del Estado de México (Desarrollo de marca, difusión, publicidad y ruta del café)	3.12	6
Programa de Control de plagas y enfermedades	2.73	7
Asistencia técnica a los productores para recuperar veneros, manantiales y preservar la humedad en el cafetal.	2.38	8
Asistencia técnica en establecimiento y manejo de viveros	2.29	9
Vinculación con autoridades locales, estatales y federales	2.11	10
Programa de renovación de plantaciones (Implementar podas de rejuvenecimiento, producir planta nueva y renovar cafetales)	1.83	11
Asistencia técnica en buenas prácticas de cosecha y pos cosecha.	0.89	12
Intercambio de experiencias para acceder a nichos de mercado	0.83	13
Programa para el control de la roya del café	0.70	14
Conseguir nuevos clientes y una mejor valoración del producto.	0.70	15
Establecimiento de viveros de café	0.70	16
Análisis de suelo y topográficos	0.53	17

Continúa

Anexo 3. Continuación

Vinculación con instituciones de investigación, gobierno y privadas que realicen investigaciones en café	0.42	18
Capacitación en mercados del café	0.35	19
Asistencia técnica para el establecimiento de plantaciones (marcos de plantación)	0.35	20
Generar productos derivados del café	0.35	21
Mejorar la calidad del café	0.30	22
Eficientar y mejorar el proceso de beneficiado del café	0.26	23
Asistencia técnica en administración de huertas	0.26	24
Establecimiento de caminos saca cosechas	0.18	25

Fuente. SAGARPA-CRUO-UACH_CENACAFÉ, 2015.

Impulso a la producción de café en territorios mexiquenses

María Viridiana Sosa Márquez¹, Norma Baca Tavira¹
y Francisco Herrera Tapia¹

Introducción

En México, el café se considera como cultivo prioritario con cadenas productivas integradas y como generador de empleo para su población (Inforural, 2021), con relevancia internacional. En nuestro país la caficultura representa una actividad estratégica, generadora de ingresos, de empleos y que facilita la constitución de cadenas productivas, que generalmente suele cultivarse de forma ecológica y sostenible —alrededor del 90 por ciento de los territorios cultivados con café se encuentran bajo sombra diversificada, que contribuye a conservar la biodiversidad— (CEDRSSA, 2018).

De acuerdo con información de la Organización Internacional del Café, la cual cada año hace público un listado en donde aparecen los principales países que producen café en el mundo, dentro de ellos tenemos a Brasil, Colombia y Vietnam encabezando la lista, y en onceavo lugar se encuentra México, representando un 0.66 por ciento del PIB agrícola nacional y el 1.34 por ciento de la de bienes agroindustriales. Nuestro país tiene una producción de cafés de excelente calidad, ya que su topografía, altura, clima y suelo permiten cultivar y producir diversos tipos de estos. Además, al interior del país existen quince entidades federativas que producen este producto, siendo Chiapas el principal —aportando alrededor del 41 por ciento del volumen nacional—, en segundo lugar, se encuentra Veracruz (24 por ciento) y en tercero Puebla (15.3 por ciento) (SADER, 2022).

El Estado de México ha buscado posicionarse en los últimos años en el mercado de producción de café con el apoyo del gobierno mexiquense. Para ello se han planteado algunas acciones que buscan solventar algunas de las problemáticas que esta manufactura presenta, entre ellas encontramos la replantación de árboles resistentes a enfermedades o

¹ Investigadoras e investigador del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Campus “El Cerrillo Piedras Blancas”, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México, México. mvsosam@uaemex.mx, nbacat@uaemex.mx, fherrerat@uaemex.mx.

brindar asistencia técnica para controlar las plagas. Al mismo tiempo se observan algunas otras barreras que limitan este proceso de producción, ya que se tienen serias dificultades por la escasez de mano de obra y algunas condiciones climáticas desfavorables como la sequía que degrada el suelo y los árboles (Inforural, 2021).

De tal manera que el objetivo del presente trabajo será conocer el impulso que el gobierno mexiquense ha otorgado en los últimos tiempos a la producción de café, con el fin de problematizar sobre sus áreas de oportunidad como eje productivo de apoyo al desarrollo local.

Antecedentes

Las especies de arbusto del cafeto que se cultivan en México son de dos tipos: la *arábiga* o *arábica* y la robusta o *canéphora*. Alrededor de un 98 por ciento de los cafetos son variedades *arábigas* como la *Bourbón*, *Caturra*, *Maragogipe* (o *Márago*), *Mundo Novo*, *Garnica* y *Typica*; esta última es la que predominaba en México hasta hace algunos años. Sin embargo, hoy en día se ha sustituido por otras variedades como la *Castimor* y *Catuai*. Cada uno de estos tipos presenta diferentes calidades, volúmenes de producción, rendimiento, resistencia a enfermedades, aroma, acidez, entre otras (CEFP, 2001).

La elaboración del café presenta algunas consideraciones que deben tomarse en cuenta. La principal de ellas se relaciona con la enfermedad del cafeto que suele ser la que se presenta en mayor medida: la roya. Esta plaga —hongo *hemileia vastratix*— comienza a detectarse en nuestro país en 1981 y suele presentarse en la época de lluvias ligeras y de corto periodo de buen tiempo. La infección de este hongo se da a través de su espora, que es muy resistente y se transporta por medio del aire, adhiriéndose a cualquier objeto y germina en condiciones ideales en un muy corto tiempo. Otra más se relaciona con la plaga de la broca del grano, la cual se detecta a partir de 1979 en Chiapas, que es un pequeñísimo escarabajo negro que se inserta en la cereza del cafeto, se introduce en la semilla, lo cual la deja inservible, tiene un aspecto negruzco (CEFP, 2001).

Lo anterior perjudica la productividad de los cafetales, aunado a cambios en el clima que pueden ser adversos, como: escasez de agua causante de la muerte del cafeto; que la planta no tenga producción de café porque en la sequía, cuando el arbusto se encuentra en floración, las flores pueden marchitarse antes de polinizarse; lo que origina producción de granos de café pequeños, ya que, aunque sí se fecunden las flores, la falta de agua provoca disminución del tamaño de los granos que significa una merma importante (CEFP, 2001).

Muchos son los beneficios que hoy en día se le reconocen al café, como que es un estimulante del sistema nervioso y tiene propiedades diuréticas y antioxidantes (CEDRSSA, 2018). Lo anterior se enmarca en una realidad actual que presenta una demanda creciente que debería de atenderse y que algunos organismos se han preocupado por cimentar.

El apoyo que este cultivo ha tenido se relaciona con algunas instituciones agrícolas, algunas de ellas gubernamentales y otras, producto de la organización de los mismos productores. De acuerdo con datos del Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2018) había hace algunos años una institución que se encargaba de la comercialización del café mexicano: Instituto Mexicano del Café (Inmecafé). Este organismo fue creado en 1958 como un órgano federal que tenía como función recolectar la producción nacional y comercializarla. Las consecuencias de lo anterior repercutieron en la calidad del producto en las diferentes regiones productoras por malas prácticas, que a su vez trajeron consigo una disminución del precio en el mercado internacional. Esta institución contaba con una infraestructura bastante amplia y sólida, pero no logró su objetivo de incrementar la producción y calidad del café mexicano, por lo cual en 1989 cerró sus actividades. En ese momento la actividad del café perdió dinamismo, la industria se independizó, dejándolo al libre mercado, en donde muchos productores ya no se encontraban en condiciones de invertir en sus cosechas, abandonaron las fincas, lo cual además provocó pérdida de empleos (CEDRSSA, 2018).

En 2016, en el marco de la Cumbre Latinoamericana del Café, realizada en la Ciudad de México, el subsecretario de Agricultura de la Secretaría de Agricultura (Sagarpa), Jorge Armando Narváez Narváez afirmó que el Inmecafé volvería a entrar en funciones en los próximos meses con el apoyo del gobierno federal, aunque posteriormente ya no se tuvo mayor información sobre las labores de dicho organismo. Según las declaraciones del funcionario se pretendían dar mayor sustentabilidad y viabilidad transexenal a las políticas públicas, así como impulsar la producción de café mexicano para superar los desafíos que el sector enfrenta. Se señaló también que en México el café se cultiva en 12 estados, con una extensión mayor a las 600 mil hectáreas, aunque 73 por ciento de los predios productivos cuentan con superficies de una hectárea o menos (Victorio, 2022). Algunas de las acciones planteadas para impulsar a este sector se refieren al establecimiento de viveros comunitarios donde se encuentran plantas resistentes que se encuentran certificadas y de alta calidad en taza, bancos de germoplasma, así como

inversiones en asistencia técnica especializada y paquetes tecnológicos (Victorio, 2022).

También podemos mencionar, que en septiembre de 2020 la LXIV Legislatura del Congreso de la Unión presentó la iniciativa de proyecto de decreto para expedir la ley de fomento a la cafecultura, en donde se crea el Consejo Mexicano del Café, organismo que conjuntaba a distintos actores que intervenían en la producción de este cultivo. Esta institución se designa como la encargada de promover la producción, la certificación, la comercialización, el procesamiento y el impulso a la investigación tecnológica del café, además de elaborar y actualizar el Padrón Nacional de productores, comercializadores y exportadores de este producto (Senado de la República, 2020).

Encontramos también a la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café, A.C., institución encargada de hacer de la cafecultura una agroindustria rentable y sostenible que promovía el desarrollo regional y generaba ingresos en un marco de satisfacción total de los consumidores, a través de la concertación de políticas, administración de programas y proveduría de servicios a todos los integrantes de la cadena productiva que integra la cafecultura (AMECAFE, 2022).

Más de la mitad de la producción de café encuentra su mercado en Estados Unidos (53.9 por ciento) y lo que resta se destina a países de la Unión Europea o a Japón, Cuba y Canadá (SADER, 2022).

Problemática a la que se enfrenta el café mexicano

De acuerdo con Argüello (2016) el sector del café enfrenta algunas problemáticas que se tienen que atender si es que se quiere hablar de desarrollo del sector. En este sentido, el autor afirma que la producción del café cuenta con poca inversión en activos productivos en los últimos años.

Asimismo, sostiene que esta falta de inversión se refleja en serias deficiencias que se pueden resumir en poca innovación y transferencia de tecnología para el pequeño productor que busca la adopción de buenas prácticas agrícolas; falta de asistencia técnica con inclusión social, enfocada en resultados hacia la maximización de la producción, la calidad, la trazabilidad, la inocuidad y la diversificación productiva; carencia de instrumentos financieros para que los productores a pequeña escala se capitalicen; y ausencia de arreglos institucionales eficientes para el retorno y la continuidad de dichas inversiones (transexenal).

También se sostiene que con el fin de hacer frente a las inversiones el Plan Integral de Atención al Café (PIAC) buscaría atender lo anteriormente planteado, así como acompañamiento para ejercer recursos gubernamentales para que en los próximos diez años se pueda contribuir a la seguridad alimentaria y explotar las posibilidades de comercialización. Resalta que, en el 2016, para contribuir con los productores, se han invertido alrededor de 1,200 millones de pesos y se impulsó a más de 117 viveros comunitarios, los cuales se espera que se siembren, en este mismo año, 210 millones de plantas de café aproximadamente (Imagen Agropecuaria, 2016).

Por otro lado, Alfredo Zamarripa, miembro del equipo técnico del PIAC, señaló que hay poca implementación de innovación tecnológica en el sector cafetalero del país por parte de los productores (menos del 20 por ciento), es por lo que el Plan Integral de Atención al Café (PIAC), mencionado antes, busca trabajar en cuatro pilares básicos: reemplazo de las plantas de café; capacitación técnica; investigación e innovación y cooperación internacional (Imagen Agropecuaria, 2016).

Otro elemento que ha sido problemático para el sector cafetalero, a pesar de su relevancia, es el relacionado con los precios del mercado, los cuales han tenido de forma constante caídas importantes en el terreno internacional. Para nuestro país el café orgánico y de comercio justo son opciones que permiten continuar con el aprovechamiento de este producto como eje de desarrollo comunitario y regional. Además de la relevancia en la participación de la producción familiar (Rivera, 2021). Para los productores mexicanos los casos exitosos residen en poder aprovechar y explotar sus propias ventajas comparativas por medio de sus características socioeconómicas y culturales, o incluso con el aprovechamiento de los rasgos particulares de las plantas de café (relacionadas con el orgánico y el *gourmet*), al abrir la posibilidad de que esta producción cuente con mayor aceptación en la medida que origine procesos más extensos de desarrollo rural (CEDRSSA, 2018).

Es necesario recalcar que el café orgánico mexicano es un cultivo estratégico que tiene características particulares que lo hacen único y lo enmarcan como agricultura sustentable y de cuidado del ambiente (Rivera, 2021). Por su parte, los cultivos orgánicos también han tenido éxito, aunque hay que señalar que aún requieren asistencia técnica (CEDRSSA, 2018). Aunado a lo anterior, otro elemento positivo de la caficultura en términos sociales se refiere a la creación de empleos en los territorios rurales donde se lleva a cabo, tiende a incrementar la calidad de vida de la población en las comunidades productoras de café,

particularmente de aquellas que lo hacen a pequeña escala (CEDRSSA, 2018).

Algunos datos estadísticos de la producción de café a nivel nacional

Según información de Sagarpa, la época de oro del café se dio a finales del siglo XX y comenzó su decadencia al inicio del presente siglo, donde no se han vuelto a obtener los 6.2 millones de sacos (de 60 kilos cada uno) que se obtuvieron entre 1999 y el 2000. Entre 2016 y 2017 se obtuvo un incremento del 30.7 por ciento en la producción de café verde. La producción nacional para este periodo se registró en 3 385 552 sacos (de 60 kg), mientras que para el periodo 2015-2016 fue de 2 346 084 costales, en donde alrededor de 500 mil caficultores trabajan (CEDRSSA, 2018).

Marcos Gottfried, director general de Expo Café 2017, declaró que México se ubicó como el onceavo productor de café a nivel mundial en el periodo 2016- 2017, con 1.6 por ciento de la producción global y en el doceavo lugar a nivel internacional como exportador. Al interior del país, el estado de Chiapas es el primer lugar en producción de café, aporta alrededor del 39 por ciento del volumen nacional, seguido de Veracruz con el 30 por ciento y Oaxaca con el 13 por ciento. Hay algunos otros estados que presentan un nivel de producción relevante como: Puebla, Guerrero, Hidalgo, Nayarit y San Luis Potosí (CEDRSSA, 2018).

De acuerdo con el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria las superficies de cosecha de café en el país se han reducido de forma importante. Entre 2010 y 2017 disminuyeron las hectáreas sembradas en 63,628 (781,015 vs 717,388 hectáreas). Aunado a lo anterior el precio por la tonelada de café cereza ha incrementado desde 2015, pasando de \$5 204.14 a \$5 489.61 (CEDRSSA, 2018).

Estas cifras muestran la importancia que tiene en nuestro país este cultivo agrícola, así como algunas de las principales dificultades a las que se enfrentan en términos de superficies cultivadas y los precios del producto.

Dimensión geográfica de la región productora de café en el Estado de México

En Latinoamérica, es usual utilizar el concepto de paisaje como sinónimo de región. No obstante, debemos precisar que Milton Santos, destacado geógrafo brasileño que ha teorizado sobre el espacio y su natura-

leza, establece que el paisaje es un “conjunto de formas” resultantes de la herencia de las relaciones entre la naturaleza y la sociedad. El paisaje se da como un conjunto de elementos reales y concretos, y se constituye en solamente una parte de la configuración territorial que abarca lo que la visión cubre (Santos, 2000). En tanto para la concepción de región, Levi y Ramírez (2012: 23) proponen considerarla como “una porción del territorio sujeta a procesos de identificación, descripción, clasificación, comparación y análisis en los cuales es relevante destacar las características, relaciones espaciales, procesos y patrones”. Asociado a las anteriores categorías está el término lugar, que al igual que otros términos geográficos merece cierta precisión porque, por ejemplo, la región también es un lugar y sirve para designar extensiones diferentes (Santos, 2000) mientras que lugar nos remite a un ámbito más concreto. Sin dejar de tener en cuenta lo anterior, reconocemos paisaje y región tienen acepciones muy ligadas entre ellas, pues de acuerdo con Ramírez y López (2015) ambas actúan como elementos de integración del medio ambiente con los procesos sociales y las dos categorías pueden ser también un instrumento importante para la planeación y ordenamiento del territorio.

En este apartado, pretendemos hacer un acercamiento al medio geográfico del sur del Estado de México, región en la que se localiza la producción de café de la entidad. Es un acercamiento somero, a modo de descripción sobre las características geográficas, que toma en cuenta la multidimensionalidad de éstas. Echamos mano de información secundaria entre la que se encuentran datos censales, registros administrativos y algunos resultados de investigaciones científicas, que geógrafos especialistas en ecología humana de la Universidad Autónoma del Estado de México han publicado en años recientes sobre esta región.

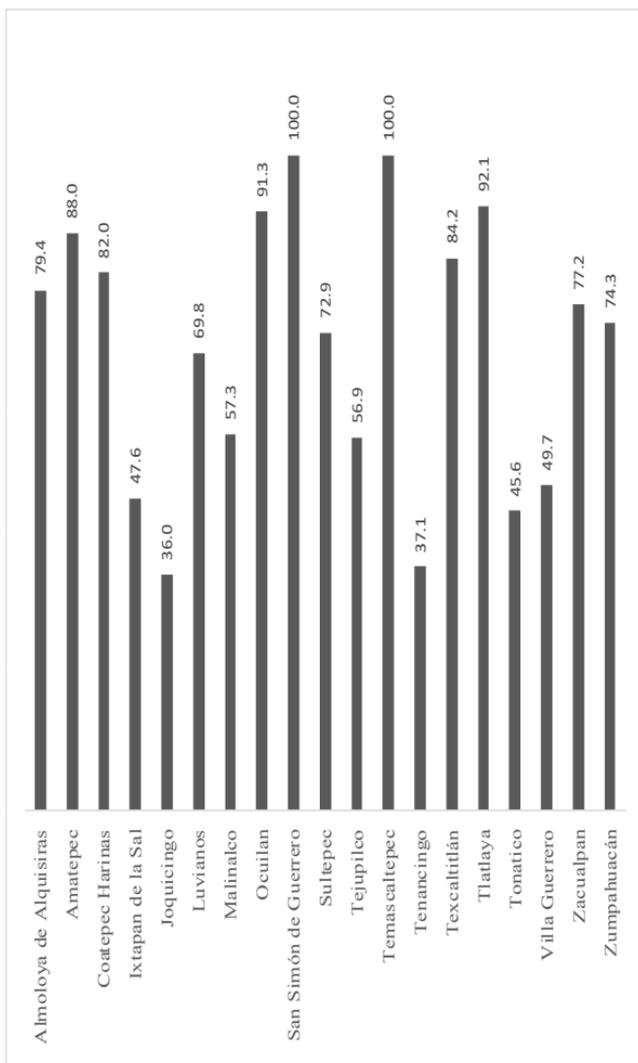
En la precisión de la referencia territorial que utilizamos para delimitar la región sur, primero hacemos alusión a elementos de carácter político administrativo en el orden estatal para la planificación del desarrollo al tener en consideración la regionalización que puede entenderse como “[...] el resultado de dividir una unidad espacial relevante geográfica y/o político-administrativamente en varias unidades espaciales con el mismo tipo de relevancia, las cuales pueden agruparse en una o varias categorías” (Lizcano, 2017). Nos posicionamos en una de las propuestas a partir del objetivo de acercamiento al territorio mexicano productor de café.

Tabla 1. Población total, tasa de crecimiento, extensión territorial y grado de marginación de la región sur del Estado de México

	Población		Tasa de crecimiento		superficie km ²	%	Grado de marginación 2020
	2010	2020	2010-2020	2010-2020			
Región sur	589890	639166	0.82	5976.3	100.0		
Almoloya de Alquisiras	14,856	15,333	0.32	166.7	2.8		Medio
Amatepec	26,334	25,244	-0.43	624.9	10.5		Medio
Coatepec Harinas	36,174	38,643	0.68	28.1	0.5		Medio
Ixtapan de la Sal	33,541	36,911	0.98	111.0	1.9		Bajo
Jiquitingo	12,840	15,428	1.88	49.2	0.8		Bajo
Luvianos	27,781	28,822	0.38	703.0	11.8		Alto
Malinalco	25,624	28,155	0.97	186.3	3.1		Bajo
Ocuilán	31,803	36,223	1.33	316.5	5.3		Bajo
San Simón de Guerrero	6,272	6,692	0.66	129.0	2.2		Medio
Sultepec	25,809	24,145	-0.68	566.2	9.5		Alto
Tejupilco	71,077	79,282	1.12	669.1	11.2		Medio
Temascaltepec	32,870	35,014	0.65	547.5	9.2		Medio
Tenancingo	90946	104,677	1.44	163.2	2.7		Bajo
Texcaltlán	17,390	18,482	0.62	142.5	2.4		Medio
Tlatlaya	32,997	31,762	-0.39	788.9	13.2		Alto
Tonatico	12099	12,912	0.67	91.7	1.5		Muy bajo
Villa Guerrero	59991	69,086	1.45	210.5	3.5		Medio
Zacualpan	15,121	13,522	-1.15	280.7	4.7		Alto
Zumpahuacán	16365	18,833	1.44	201.5	3.4		Alto

Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2011, 2021) y con información de Conapo (2021)

Figura 1. Proporción de población rural en los municipios de la región sur del Estado de México
Municipios de la región sur. Proporción de población rural, 2020



Fuente: elaboración propia con base en INEGI (2021).

A continuación, desde un enfoque geográfico, incorporamos elementos que consideramos respaldan la conformación de la región que nos sirve de demarcación para ubicar el medio socioambiental en el cual se produce café en el Estado de México.

Para la primera referencia, tenemos presente que la configuración del territorio es resultado de las relaciones sociales y las relaciones económicas son las determinantes en dicho fenómeno. En el caso del Estado de México, se aprecia un par de patrones claramente diferenciados: una hiperconcentración demográfica y de las actividades económicas y sociales en dos zonas metropolitanas; la otra, una relativa dispersión espacial de la población en el resto del territorio.

El espacio rural de la entidad es muy heterogéneo en sus sistemas productivos, con una amplia diversidad en cuanto a los grupos sociales que lo habitan. Las discrepancias regionales en cuanto a bienestar y marginación de la población colocan al medio rural como un territorio en el que las economías locales, ante la falta de inversión pública en infraestructura para la producción y el clima de inseguridad, es decir, de violencia comunitaria devienen en marginación social, en este contexto las unidades domésticas y productivas han tenido limitadas oportunidades de progreso. Las comunidades bajo estas circunstancias han desarrollado estrategias para solventar sus necesidades, la migración internacional ha sido la opción, que por décadas ha funcionado para la manutención básica de los hogares.

A principios de la década de los noventa, Ivonne Szasz (1990) con base en indicadores referentes al grado de urbanización, condiciones de vivienda e ingresos y escolaridad para los años de 1970 y 1980, y a partir de la puntuación obtenida por cada municipio en esos indicadores, clasificó a Tenancingo, Tonalico, Ixtapan de la Sal y Villa Guerrero (más otros 29 municipios) como municipios de desarrollo “medio bajo”. Mientras que Almoloya de Alquisiras, Coatepec Harinas, Malinalco, Temascaltepec, Texcaltitlán, San Simón de Guerrero, Sultepec, Zacualpan y Zumpahuacán¹, más 18 municipalidades de otras regiones del estado entraron en la clasificación de municipios de “desarrollo bajo”. En ese estudio, se destaca que en aquellos años las principales actividades económicas desarrolladas y la población económicamente activa (PEA) de esos municipios se concentraban en actividades agrícolas.

Tres décadas después la situación no es muy diferente. La diversidad que presentan entre sí las regiones y municipios mexiquenses permite clasificar a la entidad como “intensamente desequilibrada”, en donde las

1 Municipios del sur mexiquense.

disparidades sectoriales, la aguda concentración de la población y de recursos que la han caracterizado son una parte esencial de esos desequilibrios desde la década de 1970, en suma, el proceso de desarrollo desigual sustentado en la urbanización e industrialización de la entidad.

La región sur se mantiene muy rezagada en términos de inversiones en infraestructura para el desarrollo local (Tabla 1). El grado de marginación de los municipios señalados continúa ubicándose entre alto y medio. Asimismo, las actividades agropecuarias, especialmente la agricultura se mantiene en altos niveles, especialmente en cultivos como las flores, que gracias a la amplia variedad de climas y tipos de suelo que la entidad posee, especialmente en su región sur, la coloca como la más importante en la producción de flores de corte en el país y con una participación sobresaliente en la producción de frutas y hortalizas (GEM, 2018).

En este primer momento, identificamos al sur mexiquense como la región² integrada por 19 municipios: Almoloya de Alquisiras, Amatepec, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal, Joquicingo, Luvianos, Malinalco, Ocuilan, San Simón de Guerrero, Sultepec, Tejupilco, Temascaltepec, Tenancingo, Texcaltitlán, Tlatlaya, Tonatico, Villa Guerrero, Zacualpan y Zumpahuacán.

En conjunto, la población de estas municipalidades suma 639,166 habitantes en 2020, lo que significa 3.79 por ciento de la población estatal, en tanto, en términos territoriales esta región es más de un cuarto (26.7 por ciento) de la superficie del Estado de México (22,351.8 km²). Los cinco municipios con mayor extensión territorial son Tlatlaya, Luvianos, Tejupilco, Amatepec y Sultepec.

2 También identificada como macroregión sur (integrada por las regiones VI y X) en la regionalización para la planeación del desarrollo del gobierno del Estado de México en la administración 2005-2011 (GEM, 2006), esta es la regionalización que utilizamos aquí. No obstante, debe mencionarse que la actual administración estatal (2017-2023), expidió el Dictamen de División Territorial, publicado en el Periódico Oficial "Gaceta de Gobierno" el 7 de septiembre del 2018 (GEM, 2018), con lo cual la distribución regional del Estado de México quedó establecida con 20 regiones. En el caso de los municipios "del Sur" quedan integrados en tres regiones en las que también hay "otros municipios": Región XII Tejupilco: Almoloya de Alquisiras, Amatepec, Coatepec Harinas, Ixtapan de la Sal, Luvianos, Sultepec, Tejupilco, Tlatlaya, Tonatico, Villa Guerrero y Zacualpan; Región XIII Tenancingo: Almoloya del Río, Calimaya, Joquicingo, Malinalco, Ocuilan, Rayón, San Antonio La Isla, Tenancingo, Tenango del Valle y Zumpahuacán y en la Región XIX Valle de Bravo: Amanalco, Donato Guerra, Ixtapan del Oro, Oztoloapan, San Simón de Guerrero, Santo Tomás, Temascaltepec, Texcaltitlán, Valle de Bravo, Villa de Allende, Villa Victoria y Zacazonapan.

Poblacionalmente, las dos cabeceras regionales son las que tienen mayor cantidad de habitantes; Tenancingo con poco más de 100 mil y Tejupilco con casi 80 mil, a estos municipios les sigue de cerca Villa Guerrero. Si observamos la tasa de crecimiento en el periodo 2010-2020, la región registra una velocidad de crecimiento moderada, 0.82 por ciento en promedio cada año. Los municipios con mayor tasa de crecimiento poblacional son Joquicingo, Villa Guerrero y Tenancingo y los que registran tasas negativas son Zacualpan, Sultepec, Amatepec y Tlatlaya, pero otros más tienen tasas muy cercanas a cero.

Con relación al desarrollo social y económico, los municipios con peores condiciones son Luvianos, Sultepec, Tlatlaya, Zacualpan y Zumpahuacán ya que tienen un grado de marginación alto. De entre los 19 municipios, solo Tonatico tiene un muy bajo grado de marginación (Conapo, 2021); además, la región tiene alta intensidad migratoria internacional, sin embargo, los rezagos en materia de desarrollo son significativamente diferentes.

La macrorregión sur es eminentemente rural (Figura 1). En lo que sigue nos concentramos en presentar algunas de las características que esta parte del territorio del Estado de México tiene, es decir, ciertos componentes físicos, biológicos, ecológicos y ambientales, así como las relaciones entre ambiente, sociedad y cultura. Bajo este referente, recuperamos la propuesta de Vilchis (2015) quien, en su estudio sobre la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, localizada en el territorio del Estado de México, incluye 26 municipios, los 19 referidos antes más: Donato Guerra, Ixtapan del Oro, Otzoloapan, Santo Tomas, Valle de Bravo, Villa de Allende y Zacazonapan. Valga decir que estos siete municipios, están claramente integrados a la dinámica socioeconómica de Valle de Bravo, pero en conjunto con los 19 primeros, constituyen una región a partir de elementos fisiográficos que encuentra sus características a partir de la Sierra madre del sur.

La Sierra Madre del Sur comprende desde Colima hasta Oaxaca, y las zonas contiguas del noroccidente de Guerrero, Michoacán y Estado de México, estos territorios constituyen una región con alta complejidad estructural que presenta varios dominios tectónicos yuxtapuestos.

El Estado de México se encuentra ubicado entre dos provincias fisiográficas: a) Provincia del Sistema Volcánico Transversal, que comprende la mayor parte de la superficie territorial de la entidad y que corresponde a la porción norte. b) Provincia de la Sierra Madre del Sur (INEGI, 2000), ubicada en la porción sur del territorio que es la que nos interesa en este momento.

De acuerdo con Vilchis (2015:41-42) los climas subhúmedos cálidos y semicálidos imperan en gran parte de la provincia de la Sierra Madre del Sur. Aunque hay distinciones, por ejemplo, en ciertas regiones elevadas, incluso en algunas zonas con extensos terrenos planos, como los Valles Centrales de Oaxaca, rigen climas semisecos templados y semifríos; en tanto que, al oriente, hay importantes áreas montañosas húmedas cálidas y semicálidas.

En esta provincia hay una gran diversidad de tipos de comunidades vegetales, al grado de que ha sido reconocida como una de las regiones florísticas más ricas del mundo. El mayor sistema fluvial de la provincia es el del Río Balsas, con su importante afluente: el Tepalcatepec. El Río Balsas desemboca en el Océano Pacífico (Zacatula, Guerrero), además, es uno de los siete ríos de mayor longitud del país (Vilchis, 2015)

Ya desde la década de 1980, el geógrafo regionalista Ángel Bassols (1983) señalaba que dentro del subdesarrollo general y predominante que es el carácter distintivo de toda la región de la Sierra Madre del Sur se advierten ciertas particularidades. Algunas regiones presentan todavía un relativo aislamiento, no sólo con respecto a otras zonas del país, sino también en relación con regiones vecinas de la propia área geográfica, existe una importante dispersión de asentamientos humanos, facilidades de acceso, malas condiciones o falta de vías de comunicación, patrones socioculturales de los habitantes, presencia de narcotráfico y violencia comunitaria, migraciones internas e internacionales.

En una referencia de subprovincia de la región de la Sierra Madre del Sur, el territorio mexiquense que está involucrado con la Depresión del Balsas comprende 4,992.323 km², lo que representa una quinta parte (21.5 por ciento) de la superficie total de la entidad. En términos político-administrativos, involucra a los municipios de: Ixtapan del Oro, Santo Tomás, Oztoloapan, Zacazonapan, San Simón de Guerrero, Almoloya de Alquisiras, Sultepec, Tlatlaya, Amatepec y Tejupilco y parte de Donato Guerra, Valle de Bravo, Temascaltepec, Texcaltitlan, Coatepec Harinas y Zacualpan.

El relieve de la región es muy heterogéneo, hay sierras extensas, valles, depresiones, barrancos, mesetas y lomeríos con diferentes altitudes y pendientes. Hay áreas con características peculiares que influyen en la agrobiodiversidad, en las actividades económicas, socioculturales y condiciones de vida de los habitantes (Juan y Balderas, 2018). Los sistemas de topofomas permiten que la agricultura mecanizada, de temporal y de riego, se pueden realizar tanto en el valle de laderas tendidas

con mesetas como en partes un tanto más inclinadas, las condiciones físicas varían de una zona a otra; lo que implica que el desarrollo de los cultivos, la aplicación de riego y la labranza presentan diferentes grados de aptitud.

De acuerdo con Vilchis (2015) los climas predominantes en el Sur del Estado de México son el tropical lluvioso (porción sur y suroeste), el semicálido (intercalado entre el tropical lluvioso y el templado), y el templado, asociado con las estribaciones cercanas al Volcán Xinantécatl. Las especies vegetales predominantes en los sistemas de barrancos del Sur mexiquense están asociadas con las condiciones climáticas, los tipos de suelos, la altitud y las características fisiográficas de la Provincia de la Sierra Madre del Sur.

En el interior del barranco, a partir de sus elementos naturales, existe una amplia diversidad de especies frutales favorecida por el microclima generado en este tipo de ecosistema. Las investigaciones dan cuenta de diferentes productos que son utilizados por las familias que viven en los alrededores tales como limón, lima, naranja, mandarina, guanábana, plátano, zapote, papaya, chile, café y estropajo (Vilchis, 2015; Juan y Balderas, 2018).

En este medio geográfico, es que se da la producción de café en el Estado de México. De acuerdo con la Secretaría del campo, por sus características climáticas, son los municipios de Amatepec, Sultepec, Temascaltepec, Malinalco, Ocuilan, Tejupilco, Tlatlaya y San Simón de Guerrero en los que se cultiva este grano, aunque según la fuente podemos encontrar diferencias entre los municipios señalados que cultivan este producto. La especie que se cultiva en el Estado de México es la denominada “arábiga” (*coffea arábica*). Para 2016, la entidad registró 526 productores con una superficie plantada total de 573.04 hectáreas, de ellas la superficie en producción es de 479.04. Del total de la superficie plantada de café, el 75 por ciento corresponde a variedades caturra y garnica y un 25 por ciento a variedades criollas, produciéndose anualmente 405.3 toneladas de dicho grano (Secampo, 2021).

Producción de café en el Estado de México

En el estado de México encontramos una participación de productores de café deficiente, debido principalmente a que tienen que hacerles frente a altos costos de transacción y a precios bajos de venta, situación que genera bajos ingresos. En muchas de las ocasiones ellos destinan al autoconsumo sus cultivos o se organizan para reducir sus costos y que

el cultivo sea rentable. El mercado de la caficultura se consolida como una competencia imperfecta porque bajo el contexto de los caficultores se distinguen dificultades para aumentar la posibilidad de contar con información del mercado, llevar a cabo negociaciones provechosas y supervisar el cumplimiento de contratos, es decir, deben cubrir altos costos de transacción (Rivera, 2021).

Con respecto a la producción de café en esta entidad federativa, de acuerdo con datos de la Secretaría del Campo (2021), la actividad agrícola del 2020 mostró que dentro de los principales cultivos estratégicos se encuentra el café cereza, el cual obtuvo el onceavo lugar al alcanzar un volumen de producción de 622 toneladas, cifra que representa 4,827 miles de pesos, donde Amatepec es el principal municipio productor.

Ahora bien, de acuerdo con esta misma fuente de información la producción de café cereza, especie que se produce en la entidad mexicana se cultiva en una superficie de 549 hectáreas, principalmente en los municipios de Tejupilco, Amatepec, Sultepec y Tlatlaya (80 por ciento), aunque también las delegaciones regionales de Tenancingo y Valle de Bravo se dedican a la producción de este cultivo. La participación que el cultivo de café cereza tiene en la producción agrícola en el estado de México es importante, aunque no constituye uno de los principales productos que se tienen en la entidad (Secampo, 2021).

De acuerdo con esta misma fuente (Secampo, 2021) la producción de café cereza para el año 2022 se reportó en 622 toneladas y ocupó el onceavo lugar a nivel nacional. La participación de productores dedicados al cultivo de este producto se reporta en casi 1000 personas, las cuales son dueñas de 351.4 hectáreas de superficie. La tendencia que la producción de café ha tenido en la entidad mexicana (en toneladas) ha sido de disminución a partir del 2012, la cual se revirtió a partir del 2017, con ligeros incrementos.

Esta información también muestra que la región sur del estado de México, conformada por los municipios de Amatepec, Sultepec, Temascaltepec, Malinalco, Ocuilán, Tlatlaya, San Simón de Guerrero y Tejupilco, es la que presenta las mejores condiciones para el cultivo del café cereza (Secampo, 2021).

Dada la estacionalidad del cultivo del café cereza, el ciclo productivo del año 2022 comienza a partir del mes de octubre de 2021, en donde vemos que para el mes de diciembre de 2021 (ciclo 2022) ya se han sembrado 700 mil 994 hectáreas, 10 mil 715 menos si lo comparamos el año previo (711 mil 708 ha.); Chiapas, Veracruz y Oaxaca aportan 34.8

por ciento, 20.6 por ciento y 19.0 por ciento, respectivamente, en conjunto integran 74.4 por ciento de la superficie nacional (SA-SIAP, 2022).

Según datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022), para 2022, a inicios del ciclo del café cereza la superficie cosechada para diciembre de 2021 fue de 404,208 hectáreas, en la cual, se obtuvo una producción de 340 mil 14 toneladas, 41 mil 653 más respecto al ciclo anterior (298 mil 360 ton-14 por ciento). Lo anterior se explica por un mayor rendimiento, al pasar de 0.75 toneladas por hectárea en 2020 a 0.84 en 2021 y por un incremento de superficie cosechada de 7,290 hectáreas respecto del periodo anterior que fue de 396,918 hectáreas (SA-SIAP, 2022).

El principal productor fue Veracruz, entidad que aporta 34.7 por ciento de la producción nacional, y le siguen en importancia Chiapas y Puebla, con 31.9 por ciento y 22.7 por ciento, respectivamente. El estado de México ocupa el lugar número 13 entre las entidades productoras de café, y no existen cambios en la producción entre el 2021 y el 2022 (SA-SIAP, 2022), lo cual pone en evidencia la necesidad que existe de apoyar más decididamente a este sector.

Datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022) muestran que la participación de México en el comercio internacional del café tiene un volumen exportado de 75 mil toneladas e importaciones de 30 mil. Entre 2020 y 2021 las ventas de este producto reportaron un nivel histórico, acumularon 87 mil 162 toneladas, esto es, un aumento de 36.3 por ciento, mientras que las importaciones alcanzaron 32 mil toneladas, un incremento de 15.8 por ciento en este mismo periodo.

El clima no ha sido favorable a la oferta internacional, especialmente por el clima con temperatura baja en Brasil, país que representa el principal productor y exportador mundial. Para el presente año (2022) se espera una disminución en las importaciones a nivel mundial, lo cual provoca alzas en las cotizaciones de venta del grano en niveles récord (SA-SIAP, 2022).

Políticas públicas para fortalecer la producción del café mexicano

La producción de café en el sur del Estado de México se remonta a tiempos coloniales donde muchas de las familias campesinas asentadas en la región Cuenca del Balsas, especialmente en las zonas más húmedas de esa zona de tierra caliente participaban en estas labores. Por aquellos años las familias rurales tenían cultivos variados, cultivos de traspatio,

es decir, unas pocas plantas de café se sumaban a la agrobiodiversidad, característica de los sistemas de origen prehispánico.

La heterogeneidad de cultivos del campesinado del sur era favorecida por la irrigación de las microcuencas del Río Balsas, y entre ellas destaca la milpa, con un predominio de cultivos como el maíz, chayote, chilacayote, calabaza, frijol y arvenses comestibles. De igual manera la milpa se hacía acompañar de un cúmulo de árboles frutales como aguacate, guayaba, durazno, ciruelos, capulines, jaquinicuiles, limas y limones, entre muchos otros.

Con la llegada de la modernización del campo a mediados del Siglo XX, y la instrumentación posterior de políticas de gobierno que fueron disruptivas de los territorios campesinos en el orden tecnológico y la aplicación de paquetes agronómicos promovidos desde el Estado, se crearon acciones en alianza con grandes corporaciones transnacionales productoras de agroquímicos, fertilizantes, investigación científica y tecnología; de esta manera el panorama de la diversidad agroecológica transitó el esquema de incentivos públicos a la producción intensiva y de monocultivo.

No obstante, toda la avalancha de políticas estatales enfocadas al reforzamiento comercial y productivo de la agricultura desde mediados del siglo XX y principios del XXI, los sistemas locales de producción perviven en sus esquemas de diversidad agrobiológica, así mismo, la resiliencia ha sido importante, y es que las familias campesinas han jugado un papel crucial en el resguardo de la cultura agroalimentaria y producción campesina en México.

A partir de estos antecedentes, en el caso del sur del Estado de México, y en particular el cultivo del café de traspatio sigue vivo, y el saber-hacer en torno a esa actividad se vio beneficiada en los últimos 15 años, a partir de una producción reanimada con subsidios y apoyos por parte del gobierno mexicano. En ese sentido, a través de apoyos para la adquisición de planta, se incrementó notablemente la producción de café. Además, la generación de conocimiento en la región en cuanto al tema se ha visto favorecido por algunos proyectos de investigación y tesis de licenciatura y posgrado de alumnos y alumnas de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Lo anterior particularmente en la Región Tejupilco y la Región de Coatepec Harinas, donde destacan por su producción municipios como Amatepec, Temascaltepec, Ocuilan, San Simón de Guerrero, Sultepec, Tenancingo, Tlatlaya y Almoloya de Alquisiras, dicha actividad sigue en crecimiento en los esquemas de intercalado con otros cultivos y zonas

forestales, que a diferencia de otras siembras puede coexistir con otras especies vegetales.

Otro aspecto relevante es la organización productiva y la creación de redes de política pública, mismas que, deviene del Programa Estratégico de Café del año 2015 que tuvo por interés impulsar la producción de café en territorio mexiquense. Es por ello que se emprenderán acciones como: fortalecer la producción de material vegetativo, tecnificación, equipamiento tanto para el cultivo como para el beneficio del grano; proceso poscosecha, asistencia técnica, comercialización del café no sólo en la región sino con posibilidad de exportación, lo que permitirá impulsar el crecimiento de la superficie del cultivo y fomentar la sanidad para erradicar la roya en estos cultivos en el país (SEDAGRO, 2015).

Con una producción promedio de 1.7 toneladas por hectárea, los apoyos del gobierno mexiquense también han favorecido a los productores de café con acciones muy puntuales de apoyo a la comercialización. Este es el caso de que, en los últimos años la Secretaría del Campo, dependencia del gobierno estatal, ha capacitado en comercialización a los agricultores, lo que permitió, por ejemplo, la instalación de máquinas expendedoras de café distribuidas en oficinas de gobierno.

Otro aspecto relevante en materia de política pública dirigida a impulsar la producción y consumo del café es el trabajo colaborativo que se lleva a cabo con la Cooperativa de Café Orgánico de Amatepec (Cafoa) la cual desde hace una década ofrece una mejor cosecha a 54 socios de café, produce las variedades criollo, bourbon y caturra, donde se cosechan más de 570 toneladas de café al año en el Estado de México (Se-campo, 2021).

De acuerdo con Mercado *et al.*, (2020), existen otros apoyos que han sido promovidos por dependencias gubernamentales (municipales, estatales y federales) y algunas asociaciones, entre los cuales destacan en la zona cafetera los Ayuntamientos, la Comisión Nacional de Áreas Protegidas y Probosque, la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café, A.C. (AMECAFE) y la Dirección General de Fomento a la Agricultura de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).

En este contexto, el impulso a la producción del café desde el plano institucional ha sido crucial para el desarrollo de esta cadena productiva, y en combinación con el rescate y aprovechamiento de los recursos locales y regionales bioculturales que llevan a cabo los productores de café. Las nuevas políticas públicas podrán fortalecer su accionar en la búsqueda de un mejor bienestar social y desarrollo territorial, además de seguir figurando su proyección, como fue con la obtención del Pre-

mio Nacional de la Taza de Excelencia en 2021 por parte de un productor del municipio sureño de Almoloya de Alquisiras.

Conclusiones

De acuerdo con las cifras presentadas anteriormente encontramos que el cultivo del café en territorios mexiquenses es importante, y cobra un cierto dinamismo en los últimos años, aunque queremos señalar las dificultades para encontrar datos sobre su producción en el Estado de México, y la diversidad de la información en ocasiones llega a ser contradictoria sobre las cifras o los municipios productores, de ahí la importancia de fortalecer los sistemas de información agroalimentaria de carácter local en cuanto a la cadena productiva del café y otros cultivos.

A pesar de lo anterior afirmamos que la producción de café mexiquense representa un pilar importante para la economía del estado y del país, si es que se aprovecha la ventana de oportunidad que ofrece, especialmente para los pequeños productores que tienen una presencia importante. Sin embargo, es necesario que la producción supere algunas de las deficiencias que se presentan actualmente en su proceso. Entre ellas podemos mencionar la necesidad de actualizar su tecnología para el aprovechamiento de la producción de café tanto en las herramientas necesarias para el proceso de producción como la referente a combatir enfermedades y plagas de los cultivos, que constituyen una amenaza constante. Se requiere asignar recursos para la adopción de esta tecnología, la capacitación para su uso, así como para la prevención y el combate a la roya

Es entonces que se deben de considerar en el diseño de las políticas públicas de apoyo a la producción del café la asignación de presupuestos específicos que permitan a los productores y comercializadores la sustitución de las plantas de café, la adopción de nuevas tecnologías ambientalmente convenientes y la capacitación permanente, con el objetivo de fomentar la productividad de este sector cafetalero, promover alianzas estratégicas entre los agentes productivos para posicionar al café mexicano, y específicamente al mexiquense, en el mercado internacional.

Asimismo la coordinación de acciones gubernamentales hacia el sector con diversas dependencias participantes le daría un *plus* a la ejecución de estas tareas. Por otro lado, en México, el aumento en la demanda de café y la disminución de la producción marcan un desafío que debe atenderse, ya que cada año se suman alrededor de dos millones de consumidores de café, pero en contraparte, a nivel nacional el producto para abastecer el mercado disminuyó 8 por ciento entre 2016 y 2017.

De tal manera que los retos a los que se enfrenta el sector del café en México muestran un desajuste entre la situación que se vive actualmente, caracterizada por una alta demanda del producto, y la producción de café que no cubre esta demanda y donde no se perciben las oportunidades que el mercado ofrece donde se necesita un marco institucional a la altura de los requerimientos. No sólo se precisan apoyos monetarios, sino que hace falta innovación, reconocimiento de los actores que intervienen en la cadena productiva, identificar el papel de las organizaciones agrícolas, así como las características particulares de los cafetos de origen e identificaciones geográficas, para poder potenciar los aportes que cada región productora de café pueda dar al tener un producto diferenciado, con un sabor muy particular y único.

Fuentes consultadas

- Argüello, Santiago (2016), “Modelo de Arreglo Institucional para el Sector Cafetalero Mexicano”, PIAC/SAGARPA en Taller Producción sostenible de café y biodiversidad en Mesoamérica: retos y perspectivas para reflexionar en México, Oaxaca, 2016, recuperado en: <http://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.biodiversidad.gob.mx%2Fmedia%2F1%2Fregion%2Ffiles%2Fsps-b%2F11-modelo-arreglo-institucional-sector-cafetalero-mex.pdfyclen=3341748ychunk=true>
- AMECAFE (Asociación Mexicana de Café), A.C. (2022), recuperado de : www.amecafe.org.mx, el día 16 de marzo de 2022.
- Bassols, Ángel (1983), *México: formación de regiones económicas*, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- CEDRRSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria) (2018), *Reporte el café en México Diagnóstico y Perspectiva*, Cámara de Diputados, Palacio Legislativo de San Lázaro, Marzo de 2018.
- CEFP (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas) (2001), *El mercado del café en México*, Cámara de Diputados, Palacio Legislativo de San Lázaro D.F. diciembre de 2001.
- Conapo (Consejo Nacional de Población (2021), *Índice de marginación por entidad y municipio, 2020*, Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.

- GEM (Gobierno del Estado de México) (2006), *Programa de desarrollo regional. Macrorregión IV sur Ixtapan de la Sal*, Toluca: Gobierno del Estado de México.
- GEM (2018), *Planes Municipales de Desarrollo Urbano*. Secretaría de Desarrollo Urbano y Metropolitano, Toluca: Gobierno del Estado de México. Recuperado de <http://seduym.edomex.gob.mx>.
- Imagen Agropecuaria (2016), “El nuevo Inmecafé no será una carga burocrática: Sagarpa”, 17 de julio, recuperado en: <https://imagenagropecuaria.com/2016/nuevo-inmecafe-sera-una-carga-burocratica-sagarpa/>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), (2000), *Geología de la República Mexicana*, Ciudad de México: INEGI/Universidad Nacional Autónoma de México.
- Inforural (2021), “Calidad del café mexicano rumbo al reconocimiento internacional”, 6 de octubre, recuperado en: <https://www.inforural.com.mx/calidad-del-cafe-mexiquense-rumbo-al-reconocimiento-internacional/>
- Juan Pérez, José Isabel y Miguel Ángel Balderas (2018), “Estudio geográfico y ecológico de los huertos en el sur del Estado de México” en Cristina Chávez et al. (coords.) *Conocimiento ambiental tradicional y manejo de recursos bioculturales en México. Análisis geográfico, ecológico y biocultural*, Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México, pp. 51-80.
- Lizcano, Francisco (2017), *Estado de México: una regionalización con raíces históricas*, Toluca: Gobierno del Estado de México.
- Mercado, Patricia, Francisco Herrera y Rosa María Nava (2020), “Minicadenas de producción con vocación agrícola desde el enfoque de capital social”, en *Revista RECAI*. Universidad Autónoma del Estado de México. Año: 9. No: 26. Septiembre/diciembre 2020, México.
- Ramírez, Blanca y Liliana López (2015), *Espacio, paisaje, región, territorio y lugar: la diversidad en el pensamiento contemporáneo*, Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rivera Rojo, Celso Rodrigo (2021), “Costos de Transacción, Instituciones y Organizaciones Agrícolas. Un análisis para el mercado del café del sur del Estado de México, 2020”, Tesis para obtener el grado de doctor en Ciencias Económico Administrativas, Universidad Autónoma Del Estado De México Facultad de Contaduría y Administración Facultad de Economía, noviembre de 2021.
- Santos, Milton (2000), *La naturaleza del espacio*, Barcelona: Ariel.

- Secampo (Secretaría del Campo) (2021), “Fortalece GEM comercialización del café mexiquense”, Comunicado del jueves 19 de agosto de 2021, Secretaría del Campo, Gobierno del Estado de México.
- SA-SIAP (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera), (2022), “Escenario mensual de productos agroalimentarios”, Dirección de Análisis Estratégico, 14 de febrero de 2022, consultado en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/data/file/703570/Escenario_cafe_ene22.pdf
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural), (2022), “México, onceavo productor mundial de café”, 29 de agosto de 2022, consultado en [https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe?idiom=es#:~:text=En%20M%C3%A9xico%20hay%2015%20estados,%25%20y%20Puebla%20\(15.3%25\).ytext=La%20Organizaci%C3%B3n%20Internacional%20del%20Caf%C3%A9,productos%20de%20caf%C3%A9%20del%20mundo](https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe?idiom=es#:~:text=En%20M%C3%A9xico%20hay%2015%20estados,%25%20y%20Puebla%20(15.3%25).ytext=La%20Organizaci%C3%B3n%20Internacional%20del%20Caf%C3%A9,productos%20de%20caf%C3%A9%20del%20mundo).
- SEDAGRO (Secretaría de Desarrollo Agropecuario) (2015), “Crea SEDAGRO Dirección de Comercialización en apoyo a productores mexiquenses”, Comunicado 5568/2015. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Gobierno del Estado de México.
- Senado de la República (2020), “Iniciativa con proyecto de decreto por el que se expide la Ley de Fomento a la Cafecultura”, 29 de agosto de 2022, consultado en chrome-extension://efaidnbmninnkpbcajpcglclefindmkaj/http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2020/09/asun_4077437_20200928_1599666206.pdf
- Szasz, Ivonne (1990), “Regiones de atracción y de expulsión de población en el Estado de México”, en Manuel Miño (coord.) *Mundo rural, ciudades y población del Estado de México*, Toluca: El Colegio Mexiquense/Instituto Mexiquense de Cultura.
- Victorio, Rafael (2022), “Retorno del Inmecafé rescataría cafetales”, Cuarto poder de Chiapas, publicación julio 12, recuperado de: <https://www.cuartopoder.mx/chiapas/retornodelinmecaferescatariacafetales/167173>, consultado el 02 de marzo de 2022.
- Vilchis, Arturo (2015), *Los sistemas de barrancos del Sur del Estado de México: análisis geográfico*, Tesis de Geografía, Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.

La cadena productiva del cultivo de café en el Estado de México

Martha Denisse Hurtado Nader¹, José Francisco Ramírez Dávila²,
María Dolores Mariezcurrena Berasain,²
Dulce Karen Figueroa Figueroa³

Introducción

La cafeticultura es una actividad clave en la economía mexicana, pues abarca una cadena productiva tan amplia que integra diferentes sectores, empleos y oportunidades de negocio. Se trata de la bebida más consumida del mundo después del agua, la principal fuente de antioxidantes en la dieta humana y uno de los hábitos de consumo más instaurados en la cultura occidental y progresivamente en la cultura global (Díaz, 2015; Supracafé, 2022; Vega y Reyes, 2017). El alto consumo de café a través del tiempo lo han hecho ser considerado como un “*commodity*”, es decir, un producto de importancia mundial que fluctúa constantemente en transacciones comerciales de compra y venta. Se calcula que en el mundo aproximadamente 120 millones de personas dependen de la producción de este cultivo, por lo que es precursor de desarrollo económico y de divisas (FAO, 2019). Sin embargo, pese a la relevancia que tiene el café en el mundo, los productores se enfrentan a una problemática; la cafeticultura en muchas ocasiones no es una actividad económica que sea lo suficientemente rentable para cubrir sus propias necesidades básicas, por lo que surge la comercialización de este en mercados diferenciados como alternativa para generar valor y así obtener un mayor margen de utilidades. Algunas ventajas competitivas que hagan del café un producto diferenciado pueden ser las certificaciones

¹ Estudiante de Maestría del Programa de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), Centro Universitario, Campus Universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo Piedras Blanca s/n, C.P. 50200. Toluca, Estado de México, México. ² Profesor investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), Centro Universitario, Campus Universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo Piedras Blanca s/n, C.P. 50200. Toluca, Estado de México, México. ³ Profesora investigadora de la Universidad Mexiquense del Bicentenario, Unidad de Estudios Superiores Coatepec Harinas. San Luis, Coatepec Harinas Estado de México. CP. 51700.

verdes o de comercio justo, así como la comprobación de su calidad (Ramos *et al.*, 2021).

Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, en México 14 estados son productores de café, el Estado de México no encabeza la lista en cuanto al volumen que se produce, ocupando el onceavo lugar (SIAP, 2020). Sin embargo, destaca como productor de café de calidad, debido a los lugares que ha llegado a tener desde hace 4 años en el concurso de cafés de especialidad más prestigioso del país, la “Taza de excelencia”. El café mexiquense se ha ido posicionando como un café de excelencia debido a las privilegiadas condiciones agroclimáticas con alturas de hasta 2,300 msnm y al arduo trabajo y dedicación de productores como; Federico Barrueta del municipio de Temascaltepec, que ganó segundo lugar con un puntaje de 90.47 en 2018, cuarto lugar con un puntaje de 90.13 en 2019, y cuarto lugar con un puntaje de 90.13 en 2021. Así como el productor Clímaco Cruz, del municipio de Almoloya de Alquisiras que obtuvo el tercer lugar con un puntaje de 90.19 en 2021 (Cup of Excellence, 2021).

En el periodo del 2012 al 2019, se presentó un evento de gran repercusión para la industria cafetalera mexicana, decayó la producción del grano aromático además de que llegó a precios mínimos históricos desde hace cuatro décadas, especialmente en el año 2016. La disminución de precipitaciones condujo a una baja producción en el país, mientras que países como Brasil y Colombia ese mismo año incrementaron su nivel de competitividad, lo que afectó directamente a la baja de precios y sumado esto a la poca producción del país se volvió una actividad económica poco rentable (Rivera *et al.*, 2021). En otros estados del país los cafecultores fueron resilientes, pero en el caso del Estado de México esta actividad económica se vio abandonada y se ha ido retomando hace apenas unos pocos años. Por lo que la cafecultura mexiquense es considerada actualmente como una industria que se encuentra en reiniciación, debido a que el abandono de los cafetales dejó cierto desconocimiento en las nuevas generaciones. Por lo que existe un área de oportunidad muy grande para impulsar la producción y comercialización del grano aromático mexiquense pues es notorio que la región tiene un alto potencial debido a las condiciones agroclimáticas privilegiadas que posee, alturas extremas, suelos volcánicos y ricos en materia orgánica además de la cercanía que tiene con grandes ciudades (CONAGUA, 2022; Weather Spark, 2022).

Debido a la complejidad inmersa en el mundo del café, resulta imprescindible conocer a detalle la cadena productiva del mismo con la

finalidad de generar posibles estrategias de mejora continua y acciones a seguir para que existan ventajas competitivas y beneficios mutuos entre los actores involucrados. El presente trabajo es producto de una investigación que lleva por título “Diagnóstico y caracterización del grano de café (*Coffea arabica* L.) de la zona cafetalera del Estado de México”. En este se caracterizó al sistema de producción del café y se evaluó la bebida en taza de 45 productores del Estado de México, 15 de cada municipio a continuación: Amatepec, Sultepec y Temascaltepec. Se trata de una investigación de acción participativa en la que se identificaron puntos críticos, problemas, soluciones y oportunidades con la finalidad de generar estrategias de consolidación en la cafecultura mexiquense (Zapata y Rondán, 2016). Por otra parte, el objetivo de este capítulo es describir la manera en la que se desenvuelve esta actividad en la zona y comprender la participación e importancia de cada elemento, para tener un panorama certero y una perspectiva del potencial que se tiene, así como del trabajo que este representa. Si bien es cierto que existe un sin fin de información acerca de la cadena productiva del café a nivel global, cabe destacar que en cada región esta se desarrolla de forma distinta, pues el entorno social, cultural, económico y ambiental influyen en ella, por lo que el propósito de este capítulo es describir la manera en que se desarrolla la cafecultura específicamente en el Estado de México. A continuación, en la figura 1 se muestra un mapa con la geolocalización de parcelas que fueron objeto de este estudio.

Descripción de la cadena productiva del cultivo de café en el Estado de México

La cadena productiva es un sistema compuesto de actores interrelacionados por un conjunto de operaciones de manufactura y comercialización. Conocer el funcionamiento de cada eslabón en la cadena productiva permite identificar problemáticas que puedan estar frenando la eficiencia de procesos o calidad del producto o servicio. Posteriormente a identificar las problemáticas se sugiere proponer acciones de mejora continua que den paso a la optimización de recursos y la progresión (Abarca y Armendáriz, 2014).

Por otro lado, la cadena de valor es un concepto muy similar, en cambio este se enfoca en la creación de alianzas productivas, facilitando el flujo de información entre los involucrados, para analizar cada engranaje de manera independiente y conjunta (Peña *et al.*, 2008). Se refiere a la red estratégica entre un conjunto de vínculos comerciales, flujos de

insumos, información, recursos financieros, logística, comercialización y otros agentes económicos, se entiende conjunto de alianzas dentro de una cadena productiva (Ayala *et al.*, 2016).

Es importante tener en cuenta que se trata de un trabajo en equipo, por lo que los lazos entre actores y la comunicación de requerimientos son importantes, cuanto más se vinculen los actores de la cadena y cuantos más mecanismos de colaboración existan, mayor será el desarrollo (Abarca y Armendáriz, 2014; Díaz, 2015). A continuación, en la figura 2 se puede observar un diagrama de flujo que representa la cadena productiva del cultivo de café en el Estado de México, cada eslabón se discutirá en un apartado posterior.

Planeación de las parcelas

El café tuvo sus orígenes en África, su grupo botánico está conformado por más de cien especies que pertenecen al género *Coffea*. Sin embargo, cada región y clima permite el desarrollo óptimo de diferentes cafetos con características genéticas distintas como: el porte, tamaño, color del fruto y de las hojas, resistencia a plagas y enfermedades, adaptabilidad a la altura, productividad, e incluso notas en la bebida final. De estas cien especies, dos son las que más se comercializan; *Coffea arabica* integrada a su vez por diferentes variedades de arábicas y *Coffea canephora* constituida por diferentes variedades de robusta (Anacafé, 2016).

Es importante la selección de variedades que se eligen plantar ya que cada una confiere características distintas al cultivar, como: la productividad, la resistencia a plagas y enfermedades, así como a determinadas características ambientales e incluso repercute en las características sensoriales de la bebida. En algunos casos, se trata de decisiones que se toman entre productores por cuestiones de sanidad vegetal y comercialización al existir un beneficio social de por medio (Amaro y Gortari, 2016).

En el Estado de México se observó una deficiencia generalizada en cuanto a la planeación y administración de las parcelas, puesto que no se llevan a cabo registros detallados que incluyan: datos de producción, datos financieros de ingresos y egresos, así como de planificación de labores. La administración de la parcela es útil para llevar a cabo un buen manejo agronómico de la finca y planear labores como los son: las podas o la renovación de cafetales, en las cuales debe existir un registro. Por otro lado, los datos de producción, costos y ventas nos permiten conocer la rentabilidad anual y ganancias.

Figura 1. Mapa de geolocalización de las comunidades muestreadas, elaborado por Maricela Mora Escamilla y Martha Denisse hurtado Nader en el software QGIS

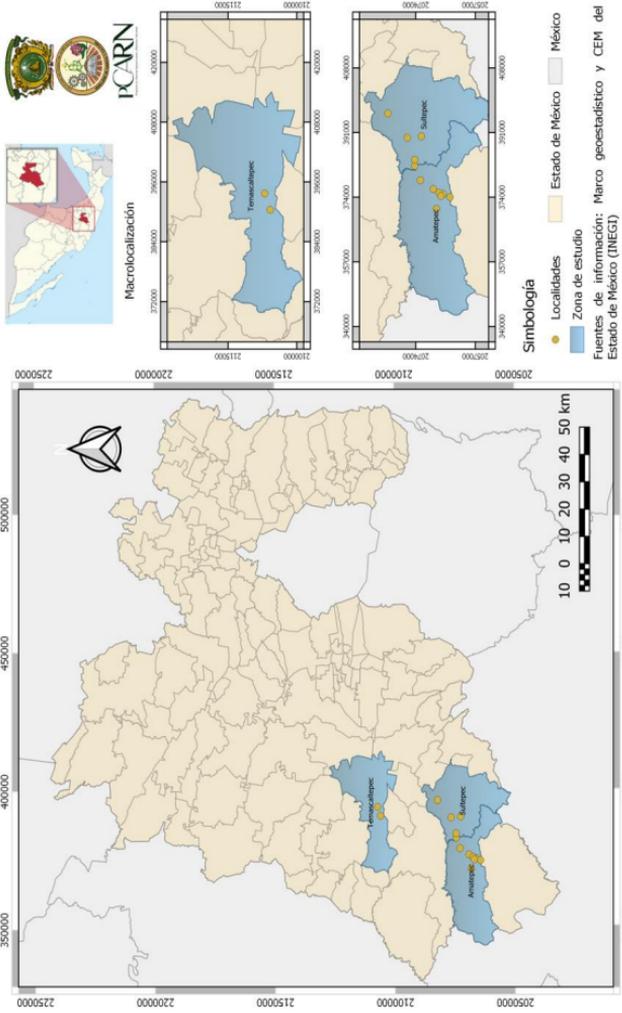
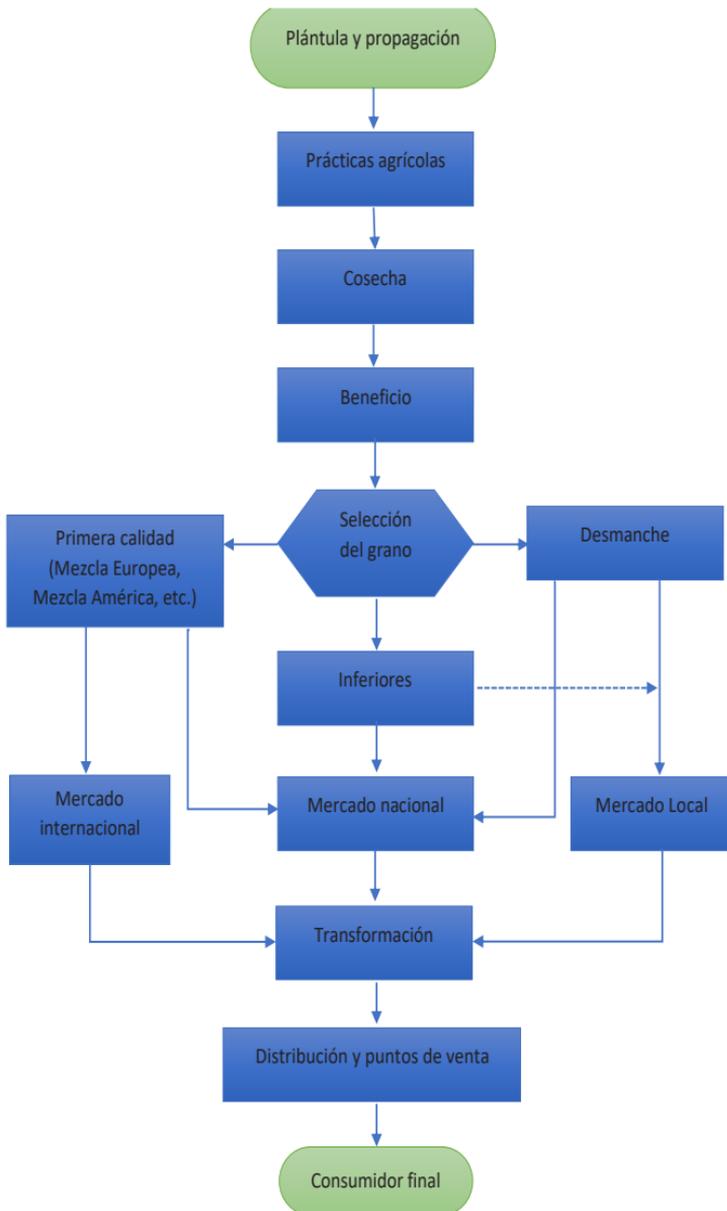


Figura 2. La cadena productiva del cultivo de café en el Estado de México



Asimismo se sugiere identificar necesidades en cuánto a maquinaria, quipo o insumos requeridos y destinar cierto presupuesto a la reinversión (IICA, 2020).

Prácticas agrícolas

La calidad del café en la bebida tiene sus orígenes en la finca, Colombia, por ejemplo, ha destacado por su calidad a nivel mundial y esto se debe principalmente a que tienen muy bien identificadas las buenas prácticas agrícolas de higiene y manufactura publicadas por la OMS, la FAO, y la FDA, que se fundamentan de la investigación científica y la experiencia de grandes productores en campo (Cenicafé, 2006). Las prácticas agrícolas a diferencia de otros puntos de la cadena productiva se tienen que monitorear todo el año, aunque claro que en ciertas épocas del año algunas actividades son más rigurosas. Se trata de un trabajo continuo que va a influir tanto en la calidad como en el volumen obtenido del producto final.

En el Estado de México existe una baja oferta del flujo de información especializada en materia del manejo del cultivo, así como de su buen procesamiento (Rivera *et al.*, 2021). Sin embargo, se ha observado que algunos productores han compartido su conocimiento, y de este modo se ha ido dispersando el aprendizaje y mejorando la calidad producto. Las prácticas agrícolas en este estado tienen la ventaja de ser amigables con el medio ambiente, pues más del 97.77% de los cafetales se encuentran bajo sombra de árboles frutales o forestales lo cual favorece a la conservación de biodiversidad, conservación de mantos acuíferos y protección de suelos (Martínez *et al.*, 2019). Además, el 60% de productores realizan una nutrición orgánica en sus cafetales, lo que además de dar vigor a la planta favorece a la propagación de microorganismos del suelo y por ende a las relaciones simbióticas entre organismos (Canseco *et al.*, 2020). Por otro lado, una de las problemáticas más grandes que se observó fue la ausencia de podas, se encontró que 4 de cada 10 productores no realizan esta práctica, por lo que se puede llegar a encontrar cafetos de hasta 40 años que nunca han sido recepados, y sin embargo siguen siendo cosechados. Este es un dato importante a tener en cuenta pues las podas tienen la finalidad de renovar tejidos, aumentar la producción y calidad del grano (IICA, 2020).

Cosecha

El fruto debe ser recolectado en su maduración óptima, que, en variedades de fruto rojo, por ejemplo, se trata de un rojo intenso carmesí. Este es un punto crítico de calidad puesto que los frutos inmaduros o sobre maduros nos darán notas desagradables en taza (Reyes, 2018). La cosecha es una minuciosa actividad que demanda considerable mano de obra, por lo que suele intervenir el caficultor acompañado de toda la familia (Amaro y Gortari, 2016). A muchos productores que contratan mano de obra, les resulta difícil obtener una cosecha de excelente selección, principalmente por dos motivos: el desconocimiento por parte del recolector o el productor mismo y sobre todo la conveniencia de algunos recolectores ya que generalmente se paga por volumen cosechado, por lo tanto, lo hacen de manera rápida, cómoda y poco meticulosa.

En la región existe el atisbo “titixi” para denominar a los residuos de cosechas que quedan aún después de que han pasado los peones a pizar y que puede irlo a recolectar cualquier persona para su consumo (Xochiaca, 2022). A la última pasada de recolección de frutos de café que se sugiere recolectar para dejar a los arbustos sin fruto, se le llama desmanche y se le tienen menor apreciación económica al momento de venta. El café de desmanche suele ser considerado como la peor calidad y generalmente se vende a un precio muy bajo en mercados locales y nacionales, como se puede apreciar en el diagrama de la figura 2.

Figura 3. Frutos de café en distintos estados de maduración que están siendo medidos por un refractómetro



Se ha encontrado que la cosecha de café en el Estado de México es selectiva. El 17.78% de los productores que fueron visitados en esta encuesta se han especializado y por lo tanto realizan una cosecha muy precisa, esto gracias a que se han capacitado y se han ayudado de un refractómetro, con el que se pueden medir los grados Brix, es decir el contenido de azúcar en los frutos, como lo podemos ver en la figura 3. El 68.89% de los productores realizan una cosecha selectiva y sólo el 13.33 realizan una cosecha poco selectiva.

Beneficio

Una vez que ha sido cosechado el café, pasa por un proceso de transformación con la finalidad de obtener el grano verde con una humedad óptima del 11% al 12% para poder ser almacenado y posteriormente tostado, a este proceso se le llama beneficio (IICA, 2020). Existen principalmente dos vías de beneficiado, el beneficio húmedo, el beneficio seco, sin embargo, hay otras variantes que son menos comunes y comerciales como el “*honey*” (también conocido como “enmielado”) y los “experimentales” que son cafés diferenciados principalmente por el especial cuidado de sus fermentaciones, usualmente conocidas como “fermentaciones controladas” (Bonilla *et al.*, 2017). Muchas veces entre los cafecultores mexiquenses existe cierta incertidumbre referente a ¿qué beneficio es mejor?, este cuestionamiento puede ser ambiguo ya que todo va a depender de los objetivos propios del productor, de la orientación de su mercado, de las preferencias del consumidor final y por último de la relación costo-beneficio en termino de utilidades (Wilmer, 2018).

En el Estado de México, se encontró cierta problemática en la ausencia o decadencia de maquinaria y equipos para el proceso de transformación. Esta falta de infraestructura imposibilita el mejoramiento sustancial de la calidad del grano, por ejemplo, una trilladora diseñada específicamente para el uso del café, acompañada de un buen mantenimiento siempre dará mejores resultados que el rústico uso del molino manual para descascarillar el café en bola, porque éste usualmente tiene otra función (Abarca y Armendáriz, 2014). Se encontró que algunos productores hacen uso de herramientas rudimentarias, o bien cuentan con las herramientas adecuadas, pero desconocen de los procedimientos óptimos para aprovecharlas al máximo. Estos malos procesos de producción impiden adentrarse en mercados mejor pagados pero que exigen cierta calidad para poder incursionar en ellos. Por lo que la mayor parte de cafecultores destinan su producción mercados locales o

bien al autoconsumo (Alvarado *et al.*, 2017; Rivera *et al.*, 2021). Se pudo constatar que, a pesar de la cercanía entre los tres municipios, las condiciones socioeconómicas varían bastante, lo que le atribuye a cada uno condiciones y oportunidades disitintas. Amatepec es el municipio de mayor producción, en este ha habido cierto apoyo, incluso se encuentra la cooperativa CAFOA (Consejo de Administración de Café Orgánico Amatepec S.C de R.L de C.V), se trata del municipio con mayor infraestructura, maquinaria y equipo, sin embargo, en muchos casos es desaprovechado por la falta de conocimientos para el aprovechamiento máximo de los mismos. En el municipio de Temascaltepec, la producción y la cantidad de productores son menores, sin embargo, es el municipio en donde mejor se han difundido conocimientos en canto a procesos de calidad. Por último, en el municipio de Sultepec la mayor parte de cafecultores se enfrentan a condiciones penurias de vida, muchas familias viven al día e incluso carecen de necesidades básicas como lo el acceso a sistemas de drenaje o de agua potable, por lo que la cafecultura no ha podido prosperar como en los municipios antes mencionados. En Sultepec, no se encontró un solo cafecultor con disposición de maquinaria alguna, ni siquiera de despulpadoras, por lo que el café que se produce ahí es procesado por el beneficio seco, con excepción de algunos productores que con dificultad llevan los frutos de café a despulpar al municipio de Amatepec.

Aunado a lo anterior, las grandes distancias representan cierta dificultad en este punto de la cadena, dado que la mayoría de los cafecultores obtienen bajos volúmenes de producción y no resulta costoso transportar el café en fruto fresco a los beneficios ni tampoco el grano en oro del productor al comprador (Alvarado *et al.*, 2017). Existen acopiadores que transforman y venden el café obteniendo cierto valor agregado gracias a que disponen tanto del conocimiento como de tecnologías y mano de obra calificada necesarios para logran cierta aceptabilidad y competitividad en mercados nacionales e internacionales, a este centro de acopio se le llama “Beneficio”. Algunos cafecultores no tienen un buen concepto de los beneficios porque obtienen una mayor rentabilidad, esto debido al valor agregado que se le da al producto, pero es importante tener en cuenta el trabajo que desempeñan, el grado de especialización que les ha requerido y la inversión en herramienta y maquinaria que han logrado obtener (Abarca y Armendáriz, 2014; Alvarado *et al.*, 2017). Los beneficios también tienen sus propios retos, uno de ellos es que deben mantener estándares de calidad constantes, ya que una buena o mala reputación va a incidir en que sus clientes sigan

optando o no por comprar su producto. Pues como en muchas otras áreas comerciales se pueden lograr precios altos y una mucha demanda a partir del prestigio que se logre adquirir y mantener (Butter y Mosch, 2003).

Selección del grano verde

La calidad del café se determina a través de las características físicas del grano verde (humedad, tamaño, color, forma del grano, entre otras), características organolépticas (aroma, sabor, acidez, cuerpo, entre otros) y su valor nutritivo (contenido de antioxidantes, cafeína y compuestos aromáticos (Abarca y Armendáriz, 2014). Algunos defectos en grano pueden venir del ataque de insectos como la broca del café que causan deterioro, pero usualmente la mayoría de los defectos provienen de los procesos de postcosecha, es decir, del beneficiado, secado y almacenado (Villers *et al.*, 2009). La selección del grano se realiza primeramente separando por tamaños al grano de café mediante cribas, esto para garantizar un tostado uniforme y cumplir con ciertas normas mexicanas de exportación, posteriormente se separan los granos defectuosos con la finalidad de cuidar la calidad de bebida en taza (NMX, 2018; SCAA, 2013). El café de primera calidad se destina como se puede observar en la figura 2, a mercados internacionales y nacionales, los de tamaños de grano más pequeños o sobrantes (llamados “inferiores”) se suelen destinar a mercados locales o nacionales.

La incertidumbre en los precios fluctuantes del café convencional desincentiva el crecimiento de la caficultura, por ello surge el café de especialidad como alternativa para mejorar la calidad del grano, e incursionar en mercados mejor pagados. En los últimos años ha crecido la tendencia de consumir café de especialidad, este se difiere al café convencional dado que se cuida el proceso de producción en cada una de sus etapas con la finalidad de preservar la calidad del producto. La cata es un método de análisis cuantificable y ampliamente utilizado para evaluar la calidad y las notas de muestras de café. Según la *Specialty Coffe Association*, el café de especialidad es aquel con una puntuación de taza de más de 80 puntos en una escala de evaluación es de 100 puntos (SCA, 2021).

La especialización de los actores es clave en la cadena productiva del café, sobre todo si se trata de un producto que demanda exhaustivo cuidado en cada etapa del proceso, los compradores de café en oro o pergamino muchas veces llegan a adquirir equipo sofisticado y alto nivel

de especialización en habilidades de tueste y cata para que a partir de la toma de unos cuantos gramos de muestra se prosiga a tostar, catar y asignar un precio correspondiente al producto. Otro criterio empleado para valorar el precio de compra consiste en realizar un análisis físico del grano, tomando en cuenta parámetros tales como humedad, rendimiento, limpieza en la selección del grano, entre otros (Rivera *et al.*, 2021; Wilmer, 2018).

Comercialización

Pese a la relevancia que tiene el café en el mundo, los productores se enfrentan a una grave problemática; la caída de precios en el mercado internacional consecuente a una producción excesiva que sacrifica calidad para ofrecer volumen (Vega y Reyes 2017; Fernández-Pachón *et al.*, 2006). Según Díaz (2015) con el sistema de globalización y la política neoliberal, aplicados a nivel mundial desde principios de la década de 1970, el comercio de productos y servicios cambió drásticamente, siendo las mayores beneficiarias de valor generado las grandes empresas transnacionales. En el comercio del café, con la disolución de las cláusulas económicas del Convenio Internacional del Café (CIC), se efectúa en un “libre mercado”, cuyo principal rasgo es la baja de precios en periodos largos y alza de precios en periodos cortos, debido a desajustes de la oferta y la demanda mundial del aromático, ocasionando precios muy bajos que afectan directamente a los productores y siguen favoreciendo a las empresas comercializadoras. Esto en materia del café convencional, ordinario, pero México y otros países productores han generado un conjunto de cafés diferenciados con orientaciones diversas, buscando mayor estabilidad en las cotizaciones fuera de las bolsas del café como alternativa a la crisis de bajos precios de compra (Díaz, 2015). En cambio, los mercados que demandan calidad son ellos quienes más se interesan por garantizar positivos resultados sociales y ambientales (salarios justos, una mejor trazabilidad, adopción de prácticas amigables con la flora y fauna), estos son aspectos cada vez son más tomados en cuenta por parte del consumidor (Wilmer, 2018).

A continuación, se mencionan algunos tipos de cafés diferenciados:

- Denominaciones de origen
- De especialidad
- De origen
- Orgánico
- De comercio justo

- Agroecológico

La identificación y distinción del mercado es una herramienta que permitirá obtener mejores ingresos y lograr una mejor posición en él. El estatus de los cafés diferenciados hace que éstos tengan mayor demanda en nichos que valoran la calidad y la ética social, este tipo de mercados requieren el desarrollo de relaciones más directas entre productores y compradores.

En el Estado de México el café de especialidad ha sido una próspera alternativa ante la necesidad de buscar ventajas competitivas y ejercer un comercio que contribuya al aumento utilidades a cambio de garantizar una calidad de excelencia en taza. Esto mediante un minucioso cuidado en cada fase de producción, desde la genética de la semilla, condiciones agroclimáticas idóneas, un estricto control en el beneficiado del café y la transformación de este (Portilla, 2005).

Distribución del grano verde

La industria cafetalera está construida por una serie de eslabones que incluye importadores, exportadores, mayoristas, intermediarios, revendedores, proveedores de insumos, asesoría técnica, investigación etc. quienes dependen directa o indirectamente de esta actividad (Abarca y Armendáriz, 2014). Sin embargo, se ha encontrado que, en el ámbito del café a nivel Nacional, entre el productor y el consumidor final intervienen de dos a cuatro intermediarios, esto genera descontento por parte del productor quien no ve compensado en el precio de compra el esfuerzo que desempeña en la actividad productiva del café, siendo que, en ocasiones, en café convencional se llega a vender la producción a precios muy bajos, incluso en algunos casos por debajo del costo de producción. (Abarca y Armendáriz, 2014; Ayala-Garay *et al.*, 2016; Díaz, 2015; Rivera *et al.*, 2021).

En el campo muchas veces las actividades económicas se desarrollan para el sustento familiar, por lo que generalmente se minimizan los riesgos y maximizan los recursos más escasos. Se toman decisiones a partir de factores internos como la mano de obra disponible, su capacidad financiera, conocimientos empíricos, la falta de infraestructura y factores externos como las condiciones agroclimáticas, el mercado local, las políticas internas, los niveles de organización existentes, las distancias que obstaculizan el contacto directo con compradores potenciales. Estas circunstancias dificultan el desarrollo y la comercialización (Abarca y Armendáriz, 2014; Ayala-Garay *et al.*, 2016). Aunado a lo anterior, las

condiciones en que se encuentran la mayor parte de los caficultores en el Estado de México incrementan la dificultad de recabar información del mercado y llevar a cabo negociaciones provechosas con los compradores, adicionalmente, en la actualidad existe un vacío institucional que genere condiciones propicias para la competitividad. Son productores quienes deben consolidar su propio marco institucional y regular las interacciones en el mercado. Pues se ha comprobado que las organizaciones agrícolas, cooperativas, uniones de productores y asociaciones han sido benéficas en la reducción de costos de transacción (Ayala-Garay *et al.*, 2016).

Según Rivera *et al.* (2021) los cafeticultores deben enfrentarse a costos de información en la búsqueda de compradores potenciales que incluyen capacitación, asistencia a exposiciones, desplazamiento y relaciones sociales, puesto que la carencia de conocimientos y destrezas para el intercambio por parte de los agricultores puede significar una desventaja frente a los compradores en el proceso de negociación, quedando expuestos a posibles conductas oportunistas por parte del comprador. Uno de los factores que significa considerables costos de transacción dentro de los mercados agrícolas es que los productores se encuentran hasta cierto punto aislados del resto de los agentes, debido a las largas distancias y el mal estado de los caminos vehiculares, con lo cual se reduce su capacidad de interacción y organización tanto entre productores como en productores con compradores, esto sumado a la falta de condiciones de infraestructura de almacenaje.

En respuesta a tal problemática, desarrollar conexiones sociales de cooperación conllevaría a una fructífera reducción de costos ya que existe una relación positiva entre la innovación y el desempeño operativo, es decir que la práctica de acciones relacionadas con la innovación organizacional influye positivamente en el desempeño operativo en la industria del café pues contribuye y ayuda a la optimización de recursos de información y a la dispersión de conocimientos que contribuyen a superar las dificultades y lograr un mejor desempeño. Por tal motivo las instituciones y organizaciones juegan un papel muy importante en la caficultura mexicana para orientar y potenciar el comportamiento de los agentes permitiéndoles mediante la unión ganar poder de negociación y capacidad para garantizar el cumplimiento de acuerdos establecidos durante el proceso de intercambio (Coti-Zelati *et al.*, 2015).

Transformación y derivados

Uno de los principales desafíos en la cafeticultura mexicana es el escaso acceso a tecnologías, pues el precio de máquinas para la industrialización es costoso. Según un estudio económico realizado por Rivera *et al.*, (2021), la falta de maquinarias básicas como: despulpadoras, trilladoras, máquinas separadoras y aventadoras en buen estado es un rasgo que les impide mejorar y optimizar sus procesos. Sin embargo, se ha observado en las inspecciones de campo del presente trabajo que también es el caso de algunos productores disponer de estas herramientas, pero carecer de conocimiento técnico y capacitación para lograr un aprovechamiento máximo de los recursos que se tienen.

La torrefacción es el proceso mediante el cual se tuestan los granos de café para formar una gran diversidad de compuestos aromáticos, ocurriendo cambios químicos y físicos con la finalidad de obtener una infusión con características sensoriales agradables al consumidor. De acuerdo al suministro de calor y tiempo de tostado se pueden clasificar los tostadores en tres tipos, el primero el tostador de aire caliente o flujo continuo, el tostador de contacto, cilindro o tambor con quemador y el tostador con sistema por lecho fluido (mixto) que utiliza las dos fuentes de calor (Sagarpa, 2008). En el Estado de México existen consumidores que tuestan café de manera tradicional en ollas de barro, y lo muelen en molinos manuales para consumo propio o venta local. Sin embargo, también encontramos productores más especializados que cuentan con la maquinaria necesaria.

El café en grano es la forma de comercialización más frecuente para exportación, sin embargo, la transformación corresponde al mayor valor agregado, este puede ser efectuado por empresas multinacionales o empresas nacionales (García y Olaya, 2006). He aquí un momento crucial en la cadena del cultivo de café mexicano, pues las negociaciones cuánto más cercanas sean entre el productor y el transformador mejores precios se podrán acordar para el cafeticultor. Según la Organización Internacional del Café (ICO, 2022), en el año 2021 hubo un aumento en las exportaciones de café soluble, cuya proporción total de exportaciones pasó del 7.8% al 8.8%. Debido a un estilo de vida acelerado, estos procesos tienen futuro en el campo mexicano, así como subproductos que pueden incluir licores, golosinas a base de café, entre otros. Así mismo ya que la industria del café genera grandes cantidades de desechos de pulpa, en años recientes se ha buscado la manera de realizar subproductos a base de esta, algunas opciones han incluido harina, extractos,

producción de enzimas y ácido gálico, suplemento en dietas de animales, saborizantes, mermeladas, jaleas, jugos, colorantes, e incluso etanol (Castillo *et al.*, 2018). A continuación, se mencionan algunas transformaciones que actualmente en café del Estado de México no se realizan pero que representan un área de oportunidad en un futuro.

- Liofilización: es un método de obtención de café instantáneo a través de un proceso de secado por sublimación a temperaturas muy bajas que evita el deterioro por recalentamiento.
- Solubilización: se trata de otra técnica para producir café instantáneo, a través de un secado por pulverización. Pero debido al uso de altas temperaturas, los aromas y compuestos volátiles se pierden en gran proporción, lo cual hace que el producto final sea desfavorable en comparación a un café tostado y molido.
- Café descafeinado: Se logra adicionando agua y dióxido de carbono o solventes orgánicos al café verde, antes de ser tostado y molido, eliminando entre un 97% y un 98% de cafeína.

Puntos de venta y consumidor final

Hoy en día existen nuevas tendencias de turismo; el turismo sostenible, que promueve respetar el ecosistema con mínimo impacto al medioambiente y a la cultura local, el turismo gastronómico que incluye degustación de platillos, bebidas y festivales culinarios programados en distintas épocas del año, el turismo educativo, cuyo objetivo es aprender y cultivarse, por lo tanto, incluye visitas guiadas que dan la opción de compra de productos elaborados en la zona y el ecoturismo agroecológico que involucra actividades relacionadas a la agricultura. Estar en contacto con la naturaleza es algo que se busca constantemente hoy en día debido a la velocidad en que vivimos, detenerse por un momento y recargarse de energía es reparador. Por esa razón, la cafecultura da espacio al turismo, los municipios productores de café cercanos a las ciudades podrían tomar en cuenta este factor pues se trata de una oportunidad de negocio en la zona (Abarca y Armendáriz, 2014). En el Estado de México el turismo agroecológico comienza a dar buenos réditos a quienes lo han implementado en los procesos de cosecha, postcosecha, y tratamiento del café, pues se trata de una actividad muy apreciada.

Análisis FODA

Con la finalidad visualizar a manera general, tanto aspectos positivos como negativos en la cadena de producción del cultivo de café se pre-

senta a continuación un análisis FODA, producto de esta investigación de acción participativa, cuyo objetivo explícito es la propuesta de acciones que conlleven a mejorar la calidad o condiciones de vida de los cafecultores. Este análisis fue elaborado a partir de la recopilación de opiniones de los actores en distintos puntos de la cadena, sustentado también de información bibliográfica (Amaro y Gortari, 2016; Coti-Zelati, *et al.*, 2015; García y Olaya, 2006; Rivera *et al.*, 2021; Coti y Ari, 2015).

Fortalezas

- Prestigio como café de especialidad: El café mexiquense ha ido ganando reconocimiento progresivamente como café de especialidad, por la calidad que se ha trabajado.
- Condiciones agroclimáticas favorables en la zona: Se trata de un café de altura, con condiciones de humedad, precipitación y temperaturas propicias para el desarrollo del cultivo con alturas de hasta 2,300 msnm.
- Producción de café Arábigo: Las variedades arábigas son apreciada en los mercados y por con buenos precios de compra.
- Ubicación y cercanía a grandes ciudades: La cercanía de los municipios cafetaleros del Estado de México con grandes ciudades como la Ciudad de México o Toluca, favorecen a la comercialización, flujo de información e intercambios entre actores de la cadena productiva.
- Marcas personales: Éstas favorecen a la identificación de fincas y contacto directo entre productores y compradores.
- Unión y comunicación entre productores: Los cafecultores han ido formando una red de vinculación en la que intercambian ideas, información y acuerdos por ejemplo para establecer precios de venta.
- Sustentabilidad de los sistemas de cultivo: Existe equilibrio entre el uso de recursos naturales, desarrollo social y económico.

Oportunidades

- Demanda de café de especialidad mexiquense en el mercado nacional e internacional: Actualmente gracias al renombre y reconocimiento de algunos productores en cuanto a calidad, existe una sobre demanda que no se alcanza a cubrir.

- Conocimiento del producto en el mercado local: Es apreciado el café que se produce en la zona, la población reconoce ese producto como local y por ende lo consumen.
- Interés por parte de entidades: Se comienza a notar cierto interés por parte de entidades gubernamentales para impulsar el cultivo del café.
- Tecnificación de cultivos para obtener un mayor volumen de producción: Algunos productores que han elegido optar por altos rendimientos, esta puede seguir siendo una buena alternativa a la par del cuidado de la calidad del producto.
- Ecoturismo: Se observan buenos resultados por parte de las fincas que lo han puesto en práctica y ha tenido buena recepción por parte de los turistas, sin embargo, cuantas más fincas se vayan sumando, más atractivo será para los visitantes.
- Nuevas tecnologías: Podemos hablar de tecnologías en campo, como lo es por ejemplo el sistema de riego, que podrían atenuar consecuencias al cambio climático (adelanto y atraso de lluvias, por ejemplo), hasta la tecnificación de los subproductos como café tostado, soluble, descafeinado, entre otros.
- Organización entre productores: La organización y colaboración entre productores representa crecimiento y desarrollo, este enfoque podría ser reforzado.

Debilidades

- Falta de maquinaria y de conocimientos para su implementación: En algunos casos se cuenta con maquinaria básica para la producción de café, sin embargo, no siempre se aprovecha al máximo, y en otros casos no se cuenta con maquinarias básicas y se elabora en función de técnicas rudimentarias que repercuten en la calidad.
- Desconocimiento sobre un adecuado manejo postcosecha del café: Hace falta capacitación técnica en campo.
- Desinformación sobre procesos de comercialización: Se desconocen áreas de oportunidades comerciales y la forma de incursionar en ellas.
- Distancias entre Beneficios y productores y entre productores y comerciantes: debido a los bajos volúmenes no resulta costeaable la movilización.
- Bajo acceso a la inversión: Dificultad para obtener créditos o costear inversiones grandes.

Amenazas

- Fenómenos climáticos: Estos afectan comúnmente a los productores debido a que su cosecha se puede ver afectada.
- Aumento de la productividad en otros países: Esto generalmente provoca un descenso en el precio mundial del café.
- Declive del consumo: Pudiera ocurrir que baje la demanda del producto.
- Inseguridad: Riesgo a ser violentado y exposición a robos.
- Pandemia COVID-19: Dificultad para la realización de actividades sociales.
- Economía: La inflación y escasez de insumos.

Algunas estrategias que podrían generarse para sacar partido de las fortalezas podrían ser: optar por cultivar variedades que se adapten a las condiciones climáticas de la zona y favorezcan a la calidad de la bebida en taza y aprovechar la ubicación que tiene el Estado de México con respecto a otras ciudades como Toluca y la Ciudad de México para el proceso de torrefacción o comercialización. En cuanto a las áreas de oportunidad se sugiere aumentar el volumen de producción y la extensión del cultivo sin dejar de lado la calidad, esto con la finalidad de abastecer cuanto más sea posible la demandada que existe por parte de compradores y consumidores finales. Para atenuar las debilidades es imprescindible capacitarse continuamente tanto en conocimientos técnicos de campo, cómo en el proceso de postcosecha, además de fortalecer las relaciones entre productores y vínculos entre productores y compradores, así como otros actores de la cadena, con la finalidad de lograr una sinergia y beneficios mutuos. Finalmente, para reducir el riesgo por amenazas, se sugiere al productor incursionar en el mercado de cafés diferenciados para obtener mejores precios de venta en su café y no depender del mercado y precios del café convencional, además de fortalecer los lazos unión para hacer frente a problemas externos que pudiesen afectar a la cadena productiva.

Conclusiones

La cafecultura mexiquense ha ido creciendo estos últimos años, ganando prestigio y reconocimiento como un café de calidad debido al arduo trabajo de los productores y las privilegiadas condiciones agroclimáticas que se tienen en la zona con alturas de hasta 2,300 msnm. Se trata de una actividad económica que ha ido ganando importancia, y

ha llamado la atención de investigadores, entidades gubernamentales, catadores, tostadores, empresarios, y otros actores dentro de la cadena productiva del café.

Después de analizar detenidamente cada eslabón de esta cadena, se puede concluir que aún existe mucho trabajo por hacer en distintas áreas. Se sugiere tomar en cuenta el contenido de este trabajo, ya que se suman visiones y opiniones de diferentes actores involucrados. La implementación de estrategias, acciones de mejora continua, redes de participación y planeación a largo plazo contribuyen a que exista un producto que genere valor y que conlleve paulatinamente a progresar tanto en los campos agrícolas, empresas y hogares.

Fuentes consultadas

- Abarca Anchundia J. L. y Armendáriz Tubón D. C. (2014). Estudio de la cadena productiva de café de altura en la Parroquia La Carolina, Cantón Ibarra, Provincia de Pmbabura [Tesis de Economista, Universidad Central del Ecuador].
- Alvarado García, Estela María, *et al.* (2017). "Caracterización Del Agroecosistema De Café Bajosombra En La Cuenca Del Río Copalita." *Revista Mexicana de Agronegocios*, vol. 40, no. 2017, pp. 635–48.
- Amaro-Rosales, Marcela, and Rebeca Gortari-Rabiela (2016). "*Innovación Inclusiva En El Sector Agrícola Mexicano Gortari, 2016.*" *Economía Informa*, 2016, pp. 87–104.
- Anacafé. (2016). Guía de variedades de café Guatemala. Asocioación Nacional del Café.
- Ayala-Garay, Alma *et al.* (2016). "Analysis of the amaranth value chain in Mexico." *Agricultura, Sociedad y Desarrollo Colegio de Postgraduados*, vol. 13, 2016, pp. 87–104, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360545634006>.
- Bonilla Medina, Jaime. "Los Beneficios Del Consumo de Café." *Revista Facultad Ciencias de La Salud: Universidad Del Cauca*, vol. 19, no. 2, 2017, pp. 47–48.
- Butter F. y Mosch R. (2003). Trade, Trust and Transaction Costs. Tinbergen Institute Discussion Paper, 82(3) 1-26. <https://papers.tinbergen.nl/03082.pdf>
- Canseco Martínez D. A., Villegas Aparicio Y., Castañeda Hidalgo E., Cruz Carrillo Rodríguez J., Celerino Robles C., Santiago Martínez G. M. (2020). Respuesta de *Coffea arabica* L. a la aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 1 (6), 1285-1298

- Castillo, F. D. *et al.* Extractos de Pulpa de Café: Una Revisión Sobre Antioxidantes Polifenólicos y Su Actividad Antimicrobiana Coffee Pulp Extracts: A Review of Polyphenolic Antioxidants and Their Antimicrobial Activity. 2018, <http://orcid.org/0000-0001-6697-4746>;
- Castro, Raúl. "México Tiene Uno de Los Niveles de Consumo de Café Más Bajos Del Mundo." *Revista Fortuna Negocios y Finanzas*, 2021, <https://tinyurl.com/y46x6zee>.
- Cenicafé, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2006). Buenas prácticas agrícolas para el café. Programa de Investigación Científica. ISSN-0120-0178
- CONAGUA, 2022, Comisión Nacional del Agua. (mayo del 2022). <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>
- Coti-Zelati, Brasil, *et al.* (2015). "Um estudo sobre a influência da inovação organizacional sobre o desempenho operacional na indústria do café". no. 2, pp. 125–39, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87846845003>.
- Cup of Excellence, Discover and Reward Exceptional Quality Coffee Farmers. (mayo del 2018). México 2018. <https://cupofexcellence.org/mexico-2018/>
- Cup of Excellence, Discover and Reward Exceptional Quality Coffee Farmers. (mayo del 2019). México 2019. <https://cupofexcellence.org/mexico-2019/>
- Cup of Excellence, Discover and Reward Exceptional Quality Coffee Farmers. (mayo del 2021). México 2021. <https://cupofexcellence.org/mexico-2021/>
- Díaz Cárdenas, Salvador (2015). "Revista de Geografía Agrícola." *Geografía Agrícola*, pp. 57–73, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75749286005>.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). Datos sobre alimentación y agricultura. <https://www.fao.org/faostat/es/#home>
- Fernández-Pachón, Ma Soledad, *et al.* (2006). "Revisión de Los Métodos de Evaluación de La Actividad Antioxidante in Vitro Del Vino y Valoración de Sus Efectos in Vivo." *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, vol. 56, no. 2.
- Gámez, Mario. "Gas Natural Europeo, Café y Acero Entre Los Commodities Más Presionados en 2021." *EL CEO*, 2022, <https://tinyurl.com/y5pohh8u>.

- García Cáceres R. G. y Olaya Escobar E. S. (2006). Caracterización de las cadenas de valor y abastecimiento del sector agroindustrial del café. *Cuad. Adm.* 19 (31): 197-217
- Guillermo García Cáceres, Rafael, and Érika Sofía Olaya Escobar. (2006). Bogotá (Colombia). no. 31.
- ICO (2022). Los Precios Del Café Se Estabilizan Por Encima de Los 200 Centavos de Dólar Estadounidense Por Libra.
- IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2020). Guía Práctica de Caficultura. CSC. San Salvador, El Salvador. 1-78 p.
- Instituto de Estudios Cajasol. (2021). “¿Qué Son Los Commodities? Características y Clasificación.” Instituto de Estudios Cajasol, <https://tinyurl.com/y5p7grrj>.
- Martínez Alemán S. R., Hernández Castillo F. D., Aguilar González C. N., Rodríguez Herrera R. (2019). “Extractos de pulpa de café: Una revisión sobre antioxidantes polifenólicos y su actividad antimicrobiana.” *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 27(77), 73-79. ISSN 1665-4412
- Pérez-Jiménez, Jara. (2011). “Metodología Para La Evaluación de Ingredientes Funcionales Antioxidantes”. Efecto de Fibra Antioxidante de Uva En Status Antioxidante y Parámetros de Riesgo Cardiovascular En Humanos, p. 272, https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/1671/6494_perez_jimenez_jara.pdf?sequence=1.
- Portilla, Emiliano Pérez (2005). “Determinación de Las Subdenominaciones de Origen Del Café Veracruz (Estudio Preliminar).” *Revista de Geografía Agrícola*, vol. 35, no. 01 273, 2005, pp. 23–56, www.redalyc.org/pdf/757/75703502.pdf.
- Reyes Henríquez W. Miguel (2018). Evaluación física y calidad de taza de dos variedades de café en dos condiciones de almacenamiento [Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana].
- Rivera-Rojo, C. R., Nava-Rogel, R. M y Ovando-Aldana, W. (2021). Instituciones y costos de información en el sur del Estado de México. *Custos e agonegocios*, 1(17), pp. 113-144. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v17/OK%206%20costos%20english.pdf>
- Sagarpa, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2008). Serie caficultura: Manual técnico cafetalero. Los cafés sustentables: producción, certificación y comercialización. INCA Rural
- SCA, Specialty Coffee Association (mayo del 2021). <https://sca.coffee/research/coffee-standards>

- SIAP. "No Title." Anuario Estadístico de La Producción Agrícola, 2019, www.siap.gob.mx.
- SIAP, and Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Escenario Mensual de Productos Agroalimentarios. 2021, pp. 1-2.
- Supracafé. "Café de Calidad: 5 Retos y 5 Apuestas de SUPRACAFÉ En Su Producción." SUPRACAFÉ, 2022, <https://tinyurl.com/y4zfo2c>.
- Vega, Aracelly, *et al.* "Determinación Del Contenido de Polifenoles Totales, Flavonoides y Actividad Antioxidante de 34 Cafés Comerciales de Panamá." *Informacion Tecnologica*, vol. 28, no. 4, 2017, pp. 29-38, <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400005>.
- Villers L., Arizpe N., Roger O., Conde C., Hernández J. (2009). Impactos del cambio climático en la floración y desarrollo del fruto del café en Veracruz, México. *Interciencia*, 34 (5) 322-329. SSN: 0378-1844
- Weather Spark. (mayo del 2022). <https://weatherspark.com/countries/MX>
- Wilmer Miguel, Reyes Henriquez. Evaluación Física y Calidad de Taza de Dos Variedades de Café En Dos Condiciones de Almacenamiento. 2018.
- Xochiaca, San Juan. "Diccionario de Lenguas Indígenas." San Juan Xochiaca, 2022, <https://tinyurl.com/y386njs7>.
- Yepes Lugo, Cristian A. "Aportes Teórico-Conceptuales Acerca Del Cambio Organizacional de La Industria Cafetera Colombiana." *Suma de Negocios*, vol. 8, no. 17, Jan. 2017, pp. 19-30, <https://doi.org/10.1016/j.sum-neg.2016.09.001>.
- Zapata, Florencia y Vidal Rondán (2016). *La investigación - acción participativa*. Instituto de Montaña.

Parte II. Temas avanzados sobre la heterogeneidad productiva del café mexicano

Brechas productivas de la producción mexiquense del café tostado y molido en el contexto nacional, 2008-2018

Wendy Ovando Aldana¹, María del Carmen Salgado Vega,²
Adriana Becerril Gutiérrez³

Introducción

A pesar de que México se ubica entre los 10 principales productores de café verde, su presencia en el comercio internacional del café tostado y molido no es visible debido al dominio de los países ricos. A nivel subnacional, destacan cinco entidades productoras de café tostado y molido en términos de su aportación al Valor Agregado Censal Bruto (VACB): Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Ciudad de México y el Estado de México (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2019). Sin embargo, las brechas de productividad son grandes. Es decir, la relación entre la producción generada para cada estado y el personal ocupado, es disímil, lo que, de acuerdo con el enfoque de brechas estructurales, genera mayores desigualdades afectando principalmente a su clase trabajadora (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2016a y 2016b; Gaudin y Pareyón, 2020).

Entre los escasos estudios sobre brechas productivas en México se analizan a todos los sectores de la actividad económica en su conjunto, o bien, sobre la industria manufacturera (CEPAL, 2016c; Closset y Leyva, 2021; Rivas y Gaudín, 2021) sin abordar alguna actividad económica en específico.

Entre las entidades federativas destaca el Estado de México por ser la principal economía en aportar al VACB nacional en la industria manufacturera en 2018 (INEGI, 2019) y, además, se ubica entre los 15 productores estatales de café verde. Por lo que, su estructura industrial y la producción de la materia prima para la generación de café tostado y molido son elementos que sobresalen para analizar su productividad en

¹ Profesora de tiempo completo de la Facultad de Economía de la Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: wovandoa@uamex.mx

² Profesora de tiempo completo de la Facultad de Economía de la Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: casa1961@yahoo.com.mx

³ Doctorante en Ciencias Económico-Administrativas. Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico electrónico: adriana.becerril@hotmail.com.

comparación con el resto de las entidades productoras de este tipo de café. De ahí que el objetivo de esta investigación sea analizar las brechas productivas de la producción mexiquense del café tostado y molido en el contexto nacional. Lo que permitirá sumar a la escasa información no solo respecto de las brechas productivas, sino a la producción de café tostado y molido, y, en específico, en el Estado de México.

Para alcanzar dicho objetivo, esta investigación toma el enfoque de brechas estructurales de la CEPAL (CEPAL, 2016a, 2016b y 2018) que establece que la heterogeneidad estructural es la base de las desigualdades en las economías de ingreso medio. En específico, si las brechas (distancias, desigualdades) productivas son amplias, significa que existen bajos niveles de productividad en algunas regiones, por lo que ello representará segmentación del mercado de trabajo, visible en los niveles de ingreso y protección social (CEPAL, 2012a), es así que, al disminuir las distancias, en particular las asociadas con el trabajo, se impulsará el crecimiento económico; el desarrollo económico, y posterior mejora en la calidad de vida de la población (CEPAL, 2016a).

Para el cálculo de las brechas de productividad se realizaron dos procedimientos complementarios: el uso del modelo *shift-share* y la estimación de la productividad relativa entre las principales entidades federativas productoras de café tostado y molido. Los datos se tomaron de los Censos Económicos que emite el INEGI (2009, 2014 y 2019) iniciando en 2008 y finalizando en 2018 a fin de contar con 10 años de análisis que permita observar con detalle los cambios productivos. Los principales hallazgos permiten evidenciar el aumento de la brecha de productividad de la entidad mexiquense respecto de la producción nacional, sin embargo, la brecha es mayor en 2018 al compararse con Veracruz.

El documento, además de contar con la introducción, se divide en cuatro apartados: en el primero se analiza el enfoque de brechas productivas, la conceptualización de productividad y las principales investigaciones relacionadas con el tema en México. En la segunda, se diagnostica la producción del café tostado y molido en México. La tercera versa sobre la estrategia metodológica y la cuarta sobre los resultados, además de contar con las conclusiones.

¿Cómo entender las brechas productivas?

Antecedentes en las brechas estructurales

El análisis de las brechas productivas se puede enmarcar en el enfoque de brechas estructurales que surge en Latinoamérica a través de la CE-

PAL (CEPAL, 2016a y 2016b; Gaudin y Pareyón, 2020) cuyas aportaciones se asocian con el estructuralismo latinoamericano. De acuerdo con Gaudin y Pareyón (2020) este enfoque supone que las diferencias estructurales entre los países que la integran tienen sus orígenes en el periodo precolombino, en el que se identificaba una “[...] cultura de privilegio heredada de los sistemas económicos, políticos y sociales [...]” (p. 23), sin embargo, es durante la colonia en la que, con la expropiación de los bienes y tierras de la población originaria de América Latina y el Caribe (ALyC), se asienta con firmeza esta cultura de privilegio.

Por lo tanto, las brechas estructurales se explican por la cultura del privilegio. Algunos agentes económicos (con poder económico y político) acceden a ciertos recursos naturales y a las rentas públicas (lo que permite intuir que se ven favorecidos por contar con información de primera mano) en un contexto en el que las instituciones son disfuncionales, la estructura productiva es especializada y más intensiva en mano de obra que en conocimiento. Las inversiones de este pequeño grupo de personas privilegiadas se ven incentivadas hacia estas actividades porque encuentran algunas ventajas como son: la presencia de subsidios, la accesibilidad al financiamiento, entre otras, que, al final, incrementan las desigualdades. Estas últimas, no desaparecerán si la cultura del privilegio prevalece, por lo que las mismas instituciones fortalecerán las disimilitudes estructurales (CEPAL, 2018).

Con base en lo descrito con anterioridad, el enfoque de brechas estructurales considera que el concepto de desarrollo “[...] es amplio y multifacético, que supone no solo mejorar los niveles de vida, sino también lograr procesos de crecimiento sostenibles e inclusivos, que aborden la desigualdad social y productiva [...]” (CEPAL, 2012b, p. 18). La tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) o el ingreso per cápita no bastan para cuantificar el desarrollo (Gaudín y Pareyón, 2020). Por ello la CEPAL considera la medición de las brechas o desigualdades mediante varios indicadores, a saber: pobreza y desigualdad; educación; género; infraestructura; productividad e innovación; fiscalidad (CEPAL, 2016a); ingreso, inversión y ahorro, salud; medioambiente; étnico y racial; bienes públicos y activos (Gaudín y Pareyón, 2020). Estos parámetros permiten identificar los principales problemas que imposibilitan a los países de ingreso medio (como los que conforman ALyC) alcanzar el crecimiento económico sostenible y equitativo de largo plazo (CEPAL, 2016a).

Una brecha puede explicar el rezago desde dos dimensiones: horizontal (externo) y vertical (interno), en otras palabras, se estudian las

diferencias respecto de un país o países, así como en el interior de una economía (Closset y Leyva, 2021; Gaudín y Pareyón, 2020; Perrotti y Sánchez, 2011). Para el primer caso, el interés está en encontrar la discrepancia (de algún indicador) entre un país y un conjunto de países o viceversa, un conjunto de economías respecto de una en referencia e identificar las alternativas para enfrentar el rezago. Para el segundo, el objetivo versa sobre analizar las diferencias estructurales en el interior de un país, ya sea entre tipo de localidades (rural-urbano), tamaño de empresas, género, etc. (Gaudín y Pareyón, 2020).

La productividad

Para los fines de esta investigación, solo se ha considerado una de las brechas de tipo económico: productividad e innovación, resaltando el interés en la primera. Por lo que, en este documento, a la productividad se le entiende como un indicador de eficiencia del manejo de recursos y un nivel de producción obtenido, es decir, es la relación del uso de los insumos y el valor económico producido (Carro y González, 2012; CEPAL, 2016c; Hall, 2011; INEGI, 2012; Syverson, 2011). De hecho, su análisis también se puede encontrar en las aportaciones postkeynesianas, directamente en Kaldor quien, mediante sus tres leyes, establece la relación de la productividad industrial con el crecimiento económico debido a su encadenamiento productivo hacia adelante y hacia atrás con el resto de los sectores (Kaldor, 1957 y 1966; Rendón y Mejía, 2015).

Las medidas de productividad más comunes se dividen en unifactoriales y multifactoriales (CEPAL, 2016c). Las primeras miden la relación del producto y un insumo homogéneo como puede ser la productividad laboral (la relación entre la producción y las horas laborales) o la productividad del capital (la relación entre la producción y el acervo de capital). Las segundas medidas cuantifican la relación del producto con diversos insumos y generalmente se expresa mediante la Productividad Total de los Factores (PTF) que es el residual obtenido de la producción y las contribuciones de factores de la producción (en la literatura se le conoce como residual de Solow).

En particular, la principal ventaja que presentan las medidas de productividad unifactoriales es que su cálculo es relativamente sencillo y existe un alto grado de disponibilidad y periodicidad de la información generando con ello que sea una medida comúnmente aceptada para comparar productividades entre países, sectores y empresas. Sin embargo, su principal desventaja versa sobre ser una medida incompleta de

eficiencia al considerar un solo factor lo que impide identificar otros que pueden incidir en la productividad (*Organisation for Economic Co-operation and Development* [OECD], 2001).

En cuanto al cálculo de la PTF, si bien es una medida más compleja para medir productividad, ya que considera varios insumos de producción, presenta como principal problema la dificultad para agregar la cantidad total de productos e insumos. Es así como existen varios métodos y enfoques para medir la PTF: 1) los métodos no paramétricos que incluyen los métodos de contabilidad de crecimiento basados en índices como el de indexación de Laspeyres, Tornqvist-Theil, Paasche, Malmquist¹ y Fisher, y el análisis envolvente de datos (DEA), y 2) los métodos paramétricos.

Adicionalmente, los insumos considerados para calcular la PTF se han modificado conforme aumenta la disponibilidad de información. En particular, desde la perspectiva original de Solow (1956) se consideran como insumos al capital y al trabajo. A partir de ahí se han desarrollado modelos más extensos como el modelo aumentado de Solow propuesto por Mankiw, Romer y Weil (1992), quienes incluyen al capital humano como insumo, y la metodología KLEMS (Hofman, et al. 2017), la cual incorpora, además del trabajo y el capital, a la energía, los insumos materiales y los servicios (lo que explica la conformación del acrónimo).

Ahora bien, a la par que han evolucionado las formas de calcular la productividad, también lo han hecho las explicaciones para establecer los factores que inciden en la productividad más allá del capital físico. Hay que recordar que, durante tres décadas, los economistas explicaron el crecimiento económico considerando como insumos de producción el trabajo y el capital físico. Sin embargo, ante la incapacidad de explicar las causas del crecimiento, a finales de la década de los años ochenta, surge la teoría del crecimiento endógeno (McCann, 2020) con el fin de encontrar un factor interno que explique la productividad hallando otros determinantes, disímiles de la acumulación de capital físico a saber: el capital humano, mejoras tecnológicas, la infraestructura física, entre otros².

¹ El uso del índice Malmquist ha sido el más generalizado en esta literatura.

² Uso sostenible de los recursos naturales, los programas gubernamentales, la estabilidad política, el cambio climático, el buen funcionamiento de mercados nacionales, la existencia de instituciones adecuadas y la geografía (Isaksson, 2007; Syverson, 2011; Kim y Loayza, 2019).

Desde el enfoque de brechas estructurales, el incremento de la productividad de los factores, pero en especial el del trabajo, propicia el crecimiento económico sostenible; lo que a su vez impulsa, en el largo plazo, la mejora en las condiciones de vida de la población (CEPAL, 2016a). Los incrementos en la productividad se verán reflejados en el mercado de trabajo que evidenciará la segmentación del empleo, el ingreso y la protección social. Por otro lado, los bajos niveles de productividad explican el porqué de la predominancia del empleo informal en las economías latinoamericanas y la mayor desigualdad (CEPAL, 2012a).

Las brechas productivas

Existen diversos estudios sobre brechas productivas que analizan las diferencias de forma externa e interna. Por ejemplo: la CEPAL (2016c), mediante diferentes formas de analizar este tipo de distancias,³ concluye que se ha ampliado la brecha productiva entre México y EE. UU., como resultado del bajo crecimiento de la productividad mexicana (0.9%) respecto de la de su vecino del norte (2.1%) en 12 años (2000-2012). El sector con menor tasa de crecimiento productivo es el primario (0.1%). Al mismo tiempo, encuentran una disminución de las horas de trabajo en la industria de la manufactura que se equipara con el aumento en el sector terciario. Asimismo, hallan un aumento en las distancias productivas a nivel regional entre 2005 y 2014: mientras entidades como Querétaro, Zacatecas y Aguascalientes exhiben tasas de crecimiento en el índice de productividad mayores (2.6%), estados como las Bajas Californias y Campeche se ubican en la posición opuesta (contracción de 3.1%). Por otro lado, en cuanto a tamaño de empresa, las grandes exponen una productividad laboral 20% mayor respecto de las de menor tamaño, siendo la industria alimentaria la que presenta las mayores brechas en las grandes empresas (180%) en comparación con las microempresas. En cuanto al análisis del sexo y el nivel educativo, descubren que la intervención de las mujeres en el mercado de trabajo aun es baja como su participación en las actividades con mayores niveles de productividad. Finalmente, estiman una diferencia de 20 veces mayor la productividad de quienes alcanzan mayores niveles de educación de quienes no.

Closset y Leyva (2021) realizan un estudio sobre las brechas internas al analizar la productividad entre diferentes tamaños de empresas

3 Método *shift-share*, distancias regionales, diferencias productivas por tamaño de empresa, así como la productividad asociada con niveles de exportación y características del mercado de trabajo (sexo, nivel de estudios).

para el año 2013 en México. Mediante un modelo Oaxaca-Blinder y la descomposición de Owen y Shapley analizan los sectores de la actividad económica para confirmar su importancia en la explicación de las disimilitudes de productividad entre tamaños de empresas. En otras palabras, dependiendo del sector en el que se desenvuelven la micro, la pequeña y mediana empresa (mipyme) será el tamaño de la brecha.

Rivas y Gaudin (2021) también analizan las brechas productivas en México, sin embargo, están inmersas dentro del estudio de 12 brechas de diferente tipo. En lo que respecta a las diferencias productivas externas, entre 1992 y 2019, México no mostró una amplia distancia productiva respecto de otros países de ALyC, sin embargo, la tasa de crecimiento de este indicador ha sido baja. Al comparar la productividad en el empleo formal entre diversos países de Latinoamérica, la economía mexicana se ubicó por arriba del promedio regional. En cuanto a las brechas internas o verticales, los autores encuentran distancias de productividad entre las actividades económicas que se ubican en las áreas urbanas y las rurales, ya que los sectores con mejores resultados se encuentran en las primeras. Es así como calculan una diferencia de 6.5 puntos porcentuales, en lo que a productividad refiere, entre las zonas urbanas y rurales en 2018.

Café tostado y molido en México

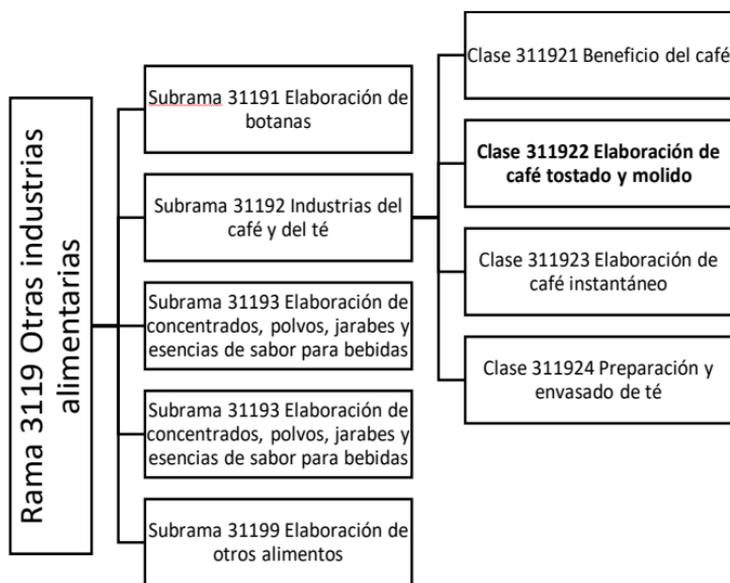
En lo que respecta a la industria del café como producto transformado, las naciones más ricas son las que dominan el mercado internacional. Los países con mayor importancia en la exportación del café tostado son los que más demandan el café verde y quienes cuentan con una base industrial mejor equipada y marcas ya establecidas como son: la Unión Europea, Suiza y Estados Unidos (*International Coffee Organization* [ICO], 2020). En otras palabras, son quienes demandan el café verde y lo transforman en café tostado, agregando mayor valor al producto y dejando en desventaja a los principales países productores del café en términos de intercambio comercial.

La producción del café tostado y molido se ubica dentro de las actividades manufactureras o de la transformación y, de forma específica, en la industria alimentaria (Figura 1). Además, con base en cálculos propios y el Censo Económico de 2019, representa una actividad de gran importancia económica, ya que ocupa el primer lugar a nivel nacional en cuanto a concentración de unidades económicas (35.3%), y el segundo lugar respecto del personal ocupado (16.8%), remuneraciones (11%) y aportación al VACB (14.2%), superada por la industria de Fabricación

de equipo de transporte (19.9% personal ocupado, 24.4% remuneraciones y 31.4% VACB). Destaca el Estado de México como la primera entidad federativa en aportación al VACB de la industria alimentaria con 14.1% seguido de Jalisco con 13.0% (INEGI, 2019).

El café tostado, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-F-013-SCFI-2010, refiere al “[...] producto obtenido de café, el cual ha

Figura 1. Clasificación de la elaboración de café tostado y molido en México



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2019).

sido sometido a temperatura superior a 150° C y presenta una pérdida de peso respecto al grano de café verde utilizado de 10% m/m a 24% m/m [...]” (Secretaría de Economía [SE], 2010, s/p). En otras palabras, es el café cuyos granos originales tratados a cierta temperatura se transforman debido a que sufren un proceso de deshidratación y liberación de aceite, así como reducción de su peso (Gotteland y De Pablo, 2007). El café tostado y molido es aquél que después de haber sido tostado sufre una “[...] reducción de tamaño de partícula” (SE, 2010, s/p). De tal forma que, para obtener un kilogramo de café molido se requieren 1.19 kg de café verde (ICO, 2020).

En lo que refiere a su producción e importancia económica, la elaboración de café tostado y molido en México aglutina 68% de las unidades económicas de la industria del café y del té; 38% del personal ocupado; 28% de las remuneraciones, y 29% de la aportación al VACB (INEGI, 2019).

La distribución geográfica de su producción en términos de VACB es heterogénea. Mientras el sur y la parte de occidente de México junto con Veracruz dominan la producción del café tostado y molido; en la parte norte solo Baja California, Nuevo León y Tamaulipas son las entidades que se relacionan con este tipo de producción (INEGI, 2019). Parte de la explicación de estas diferencias en el territorio mexicano se asocia con los estados productores de café.

Los principales productores de café son: Chiapas, Veracruz y Oaxaca que concentran 39%, 30% y 13% respectivamente de la producción nacional (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA], 2018). Otras entidades que también producen café son: Colima, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Estado de México, Nayarit, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí y Tabasco (Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café [CENACAFE], 2022).

En cuanto al consumo del café en México, éste se concentra en el café soluble con una participación de 60 a 65% del total, seguido por el café molido (USDA, 2020). De acuerdo con la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) (INEGI, 2020), en México 76% de los hogares consume café tostado soluble mientras que 24% restante, café tostado en grano y molido.

En la República Mexicana el consumo del café sigue siendo predominantemente de café soluble, hay una demanda creciente por el café tostado y molido debido a la popularización de “la cultura del café”, el incremento en el nivel de ingresos de la población, el aumento en la clase media, la tendencia de productos de mayor calidad y la llegada de franquicias que han popularizado su consumo (Pérez, 2011; Canet *et al.*, 2016), por lo que se prevé que dicha tendencia sea al alza en la que se transite de la masificación del café a una personalización del café en concordancia con las olas de consumo observadas a nivel mundial.

Con base en todo lo descrito en esta sección, el estudio del café tostado y molido se vuelve necesario, toda vez que su producción, exportación y demanda están en aumento. México no solo es productor de café verde, también lo es de café tostado y molido con diferencias en la producción subnacional. Identificar los niveles de producción y uso de

factores de la producción, en especial del trabajo, permitirá hallar las diferencias estructurales a nivel nacional entre los principales productores de este tipo de café. Este trabajo se enfoca en el Estado de México por ser productor de café verde y por su mayor presencia en la industria alimentaria. Por lo tanto, el análisis de las diferencias de productividad, en la siguiente sección, se centrará en la comparación de las brechas que presenta la entidad mexiquense.

Estrategia metodológica

Para llevar a cabo el análisis de las brechas productivas en México, pero poniendo especial atención en el Estado de México, se empleará el estudio de tipo vertical o de brechas internas. Si bien existen diversas formas de estudiar las disimilitudes productivas (Cepal, 2020, Cepal, 2016c; Closet y Leyva, 2021; Correa, Leyva y Stumpo, 2020; Rivas y Gaudin 2021) debido a la disponibilidad de datos, solo se emplearon dos técnicas: el modelo *shift-share* (Rivas y Gaudin, 2021) y el cálculo de brechas productivas (CEPAL, 2010; CEPAL, 2016c).

Respecto del moldeo *shift-share* o también llamado modelo de Dunn, en su versión más sencilla, compara el cambio de una variable en dos momentos para dos espacios. Lo que pretende, principalmente, es identificar qué hubiera pasado si la variable de análisis en el territorio de menor tamaño hubiera crecido al ritmo de la variable del espacio de mayor dimensión. Al mismo tiempo, detectar en la contrastación, los sectores de menor crecimiento y la composición de la estructura industrial, por lo que se calculan tres efectos: total, diferencial y estructural (Boisier, 1980).

Para el cálculo del primer efecto se tiene la siguiente fórmula:

$$ET_j = \sum_i V_{ij} (tn)_j - \sum_i V_{ij} (tn-1)_j * rSR$$

Donde V_{ij} es el valor de la variable en estudio; tn es el periodo de tiempo n ; $tn-1$ es el periodo de tiempo $n-1$, y rSR es el porcentaje de variación de la variable a nivel nacional en el periodo de análisis.

Si el valor es positivo, significa que la variable analizada en la entidad crece más rápidamente que la media nacional, si el resultado es negativo, entonces, crece más lentamente que la media nacional (Torres, 2009).

El efecto diferencial se obtiene de la siguiente forma:

$$ED_j = \sum_i [V_{ij} (tn) - rS_i V_{ij} (tn-1)]$$

Donde $rS_i V_{ij}$ representan el porcentaje de variación de la variable a nivel nacional aplicada a los datos estatales, es decir, es lo que hubiera crecido la variable de estudio si hubiera alcanzado el ritmo nacional. Las estimaciones tendrán tres posibles resultados: mayor a 0, menor a 0 e igual a 0, los cuales se asociaron con ritmos de crecimiento estatales mayores a los nacionales, menores o iguales (respectivamente) (Torres, 2009).

Finalmente, la diferencia entre el efecto total (ET_j) y el efecto diferencial (ED_j) da como resultado el efecto estructural (EE_j) cuyo valor determinará la condición de la estructura del empleo regional (favorable, menos favorable o igual) respecto de la estructura del empleo nacional (Torres, 2009).

Cabe señalar que, para los fines de esta investigación, el análisis se realizó en la rama 3119 Otras industrias alimentarias en la que se encuentran cinco subramas incluyendo la 31192 Industrias del café y del té (Figura 1). Lo anterior debido a que no hay información disponible para algunas de las clases que conforman la subrama 31192 Industrias del café y del té a nivel estatal, y no es posible desagregarla o comparar la población ocupada estatal contra la nacional.

En cuanto al cálculo de las brechas productivas, se consideró la fórmula propuesta por Closset y Leyva (2021). En primera instancia proponen la estimación de las productividades con la siguiente razón:

$$Productividad\ laboral = \frac{Valor\ agregado}{Personal\ ocupado}$$

El cálculo de las brechas es de la siguiente manera:

$$Brecha\ de\ prod.\ laboral\ de\ A\ respecto\ de\ B = 1 - \frac{Productividad\ laboral\ de\ A}{Productividad\ laboral\ de\ B}$$

No obstante, en la estimación que se realiza en este trabajo se omite la resta del 1 para una mejor comprensión e interpretación. De hecho, al eliminar la deducción y solo tener los cocientes la fórmula se homologa con lo realizado por la CEPAL (2010 y 2016c).

Para ambas técnicas los datos se obtienen de los Censos Económicos para varios años (INEGI, 2009, 2014 y 2019) tomando como variables al personal ocupado total y el VACB. Cabe mencionar que, al estudiar varios años, el VACB se deflactó utilizando el Índice de Precios al Productor (IPP) de la industria manufacturera (2019=100) (INEGI, 2022).

Para el cálculo de las brechas productivas se eliminaron las entidades federativas que, a pesar de contar con información en unidades económicas, carecían del dato en las variables empleadas. Al mismo tiempo, se suprimieron los estados que no contaban con la información en los tres años censales; de tal forma que al realizar el filtro al final quedaron solo cinco entidades: Chiapas, Ciudad de México, Estado de México, Oaxaca y Veracruz.

Resultados

En cuanto a la técnica *shift-share*, en la que se comparó la estructura de la rama 3119 Otras industrias alimentarias (por subrama) a nivel estatal y nacional, los resultados muestran que para el periodo 2008-2013 el Estado de México contenía subramas con ritmos de crecimiento, en su población ocupada, superiores a los nacionales, ya que el efecto diferencial fue positivo (Cuadro 1), estas fueron: elaboración de botanas, y elaboración de condimentos y aderezos.

Cuadro 1. Cálculo de shift-share en la rama 3119 Otras industrias alimentarias en Estado de México respecto de la producción nacional, 2008-2013 y 2013-2018

Efectos/periodo	2008-2013	2013-2018
Efecto diferencial	2.84	-2793.98
Efecto estructural	184.83	-135.42
Efecto total	187.67	-2929.40

Fuente: Elaboración propia.

El efecto estructural también fue positivo en este periodo de estudio, lo que significa que la estructura en la rama 3119 Otras industrias alimentarias fue más favorable para el crecimiento del empleo estatal que a nivel nacional. En cuanto al efecto total, al presentar un número positivo, implicó que el Estado de México creció con mayor rapidez (en su población ocupada) en esta rama al equipararse con los datos nacionales. Sin embargo, la subrama 31192 Industrias del café y del té exhibió una tasa de crecimiento negativa en su población ocupada tanto a nivel estatal (-25%) como a nivel nacional (-11%).

En lo que refiere al segundo periodo de estudio (2013-2018), todos los efectos fueron negativos (Cuadro 1), lo que conlleva a establecer las

siguientes conclusiones para otras industrias alimentarias en el Estado de México: 1) los ritmos de crecimiento de la población ocupada de sus subramas fueron inferiores (en su conjunto) al ritmo de crecimiento de lo que ocurrió a nivel nacional; 2) la estructura del empleo en la entidad mexiquense fue menos favorable que la estructura del empleo en México, y 3) el ritmo de crecimiento estatal resultó inferior a la media nacional.

Cabe destacar que la subrama Industrias del café y del té tuvo el peor desempeño dentro de otras industrias alimentarias a nivel estatal. Su ritmo de crecimiento en la población ocupada fue de -32% al equipararse con la nacional que fue de 14%. La tasa negativa supone que hubo menos trabajadores en la producción del café y del té, no obstante, se esperaría que el nivel de producción no disminuyera, es decir, que la productividad laboral fuera mayor para cada periodo de producción. Esto se puede corroborar al analizar las brechas productivas y, de manera específica, para la producción del café tostado y molido.

Al contrastar la productividad del Estado de México con las principales entidades federativas productoras de café tostado y molido, y al considerar la producción nacional como el punto de referencia para el cálculo de las brechas productivas, la distancia o desigualdad productiva mexiquense se ha ido ampliando a lo largo del tiempo (Gráfica 1).

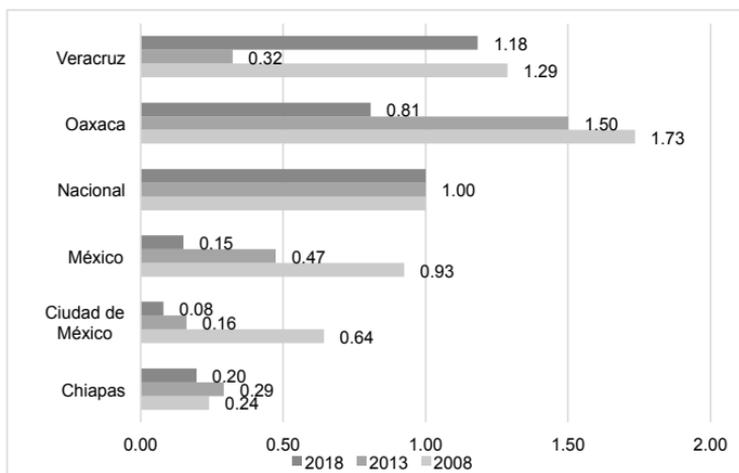
Después de que la productividad laboral mexiquense alcanzaba el 93% de la nacional en 2008, la productividad relativa apenas logra un 47% y posterior 15% de la productividad nacional en 2013 y 2018, respectivamente. La heterogeneidad estructural se ve reflejada en la amplitud de la distancia no solo entre la producción estatal y la nacional, sino que, además, con entidades como Oaxaca y Veracruz.

Los resultados anteriores reflejan una caída en el empleo y de la producción en la industria del café tostado y molido en el Estado de México (Gráficas 2 y 3), probablemente asociadas con el cierre de empresas en esta actividad.

De acuerdo con los Censos Económicos (INEGI, 2009, 2014 y 2019) en 2008 en el Estado de México, había seis empresas productoras de café tostado y molido, distribuidas de la siguiente manera: Amatepec con dos; Chalco con una; Lerma con dos; Tepotzotlán con una, y Cuautitlán Izcalli con una. En 2014 seguían siendo seis, pero habían desaparecido las de Chalco, Tepotzotlán y Cuautitlán Izcalli quedando cuatro en Amatepec y dos en Lerma. Y en 2018 se tienen nueve empresas: desaparece una en Amatepec y se suman cuatro más al registro: una en

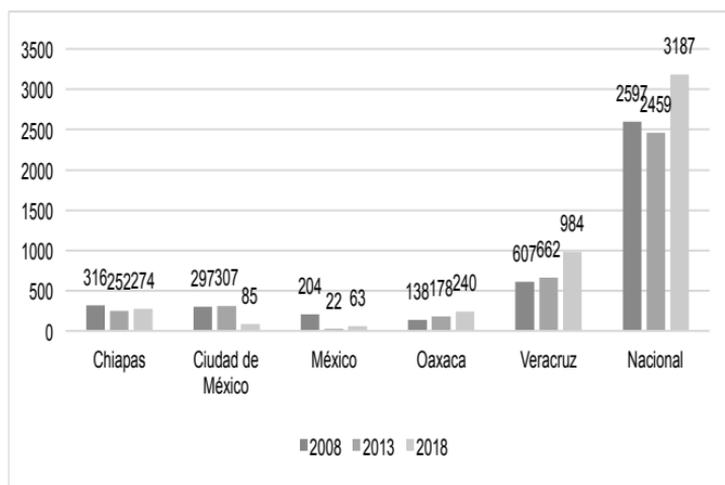
Malinalco, otra en Metepec, una en Toluca y reaparece la de Chalco, considerando, claro, las dos de Lerma para tener las nueve empresas.

Gráfica 1. Brechas productivas en la producción de café tostado y molido en México respecto de la producción nacional, 2008



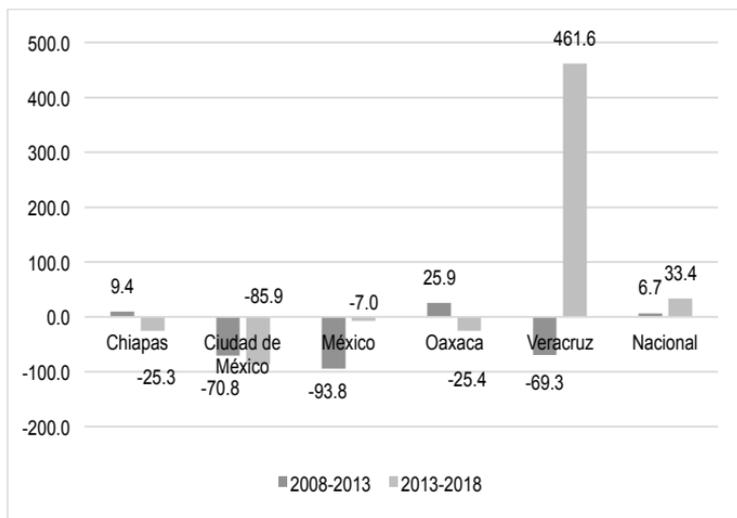
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. Población ocupada en la producción de café tostado y molido en las principales entidades en México, 2008, 2013 y 2018



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Tasa de crecimiento de la producción de café tostado y molido en las principales entidades en México, 2008-2013 y 2013-2018



Fuente: Elaboración propia.

A pesar de las diferencias en las bases estadísticas entre los Censos Económicos y el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) (INEGI, 2021), destaca el hecho de que las 10 empresas de café tostado y molido, registradas para 2021 en el Estado de México en dicho directorio, 90% son microempresas y una pequeña. En cambio, en Veracruz de las 117 empresas que son publicadas, una empresa es grande, 10% pequeñas y el resto microempresas (89%). Importante de señalar que el tamaño de empresa se asocia con los niveles de productividad. Las grandes empresas son más productivas que las mipymes (OECD, 2017b). En el caso de México, las brechas entre las grandes empresas y las micro (1 a 9 empleados) es la mayor: las segundas representan 14% de la productividad que logran las de tamaño mayor (las pequeñas presentan el 37% y las medianas el 46%) (OECD, 2017a).

Lo anterior, permite asociar los niveles de productividad bajos en la industria del café tostado y molido en el Estado de México por el tamaño de sus empresas, aunado al cierre y apertura de nuevas empresas como se había comentado anteriormente.

Al mismo tiempo, destaca la inversión en capital fijo que realiza la entidad en comparación con Veracruz. En 2018, la formación bruta de

capital fijo⁴ (FBKF) de la entidad mexiquense en la producción de café tostado y molido, con cálculos propios, representó 7.5% del total nacional, mientras que las empresas ubicadas en Veracruz concentraron 52.6% (INEGI, 2019).

La estructura industrial del Estado de México iniciada fuertemente con el modelo de sustitución de importaciones, junto con la producción de café verde no han sido detonantes de la producción del café tostado y molido. Por el contrario, y con base en la información que proporciona el INEGI en sus Censos Económicos, se puede observar una menor participación de la entidad a nivel nacional cuyas brechas productivas se han ido ampliando a lo largo del tiempo, que a razón del enfoque de brechas productivas significaría mayor desigualdad. Al mismo tiempo los bajos niveles de productividad se asocian con una estructura del empleo informal, bajos ingresos y escasa o nula protección social.

Conclusiones

Una de las formas del café transformado es el café tostado y molido, sin embargo, solo algunas economías (la Unión Europea, Suiza y Estados Unidos), cuentan con la tecnología especializada que les permite su mayor comercialización y dominio del mercado. Este valor agregado que incorporan en el proceso productivo, con base en la industria equipada con la que cuentan, genera brechas productivas respecto de otros países.

No obstante, las diferencias de producción también se pueden hallar a nivel subnacional. Chiapas, Ciudad de México, Estado de México, Oaxaca y Veracruz son los principales productores de café tostado y molido; sin embargo, las diferencias en el nivel de producción son significativas. De hecho, al estudiar al Estado de México de forma individual, mediante la técnica *shift-share*, en las subramas pertenecientes a Otras industrias alimentarias, se halló que durante el periodo 2008-2013, en conjunto presentó un mayor crecimiento en su población ocupada en comparación con el dato nacional; no obstante, la subrama Industrias del café y del té exhibió una tasa de crecimiento en su población ocupada negativa. La situación se agravó en el periodo 2013-2018, puesto que

4 Es el valor de los activos fijos comprados por la unidad económica (hayan sido nacionales o importados, nuevos o usados), menos el valor de las ventas de activos fijos realizadas. Incluye: como parte de las compras de activos fijos, el valor de las renovaciones, mejoras y reformas mayores realizadas a los activos fijos que prolongaron su vida útil en más de un año o aumentaron su productividad, y los activos fijos producidos por la unidad económica para uso propio (INEGI, 2019).

toda la rama a nivel estatal mostró efectos negativos en comparación con los datos nacionales. En específico, las Industrias del café y del té tuvieron una tasa de crecimiento de -32% en comparación con la nacional que fue de 14%.

Estos resultados, al menos en la población ocupada reflejan el abandono de la industria del café, conforme ha pasado el tiempo el número de trabajadores ha disminuido. Puesto que esta afirmación puede ser ambigua, ya que la producción podría depender de maquinaria y equipo, una forma en la que se detectó si efectivamente la producción disminuyó o no fue mediante el análisis de brechas productivas.

Los resultados permitieron establecer que las brechas productivas de la producción de café tostado y molido entre el Estado de México y la producción nacional se incrementaron entre 2008-2013 y posteriormente entre 2013-2018. Al mismo tiempo, se halló que la mayor diferencia no se encontró con la producción nacional, sino con otras entidades: Oaxaca (2008 y 2013) y Veracruz (2018) quienes presentan mayores niveles de productividad por encima de la media nacional.

Lo anterior sugiere que el tamaño de las empresas en el Estado de México, la escasa inversión en capital fijo (FBKF), así como el cierre y apertura de nuevas empresas han influido en el bajo rendimiento y especialidad de esta industria. Por lo que el contar con producción de materia prima en la entidad, así como la experiencia en la industria manufacturera no han sido condicionantes del impulso de la producción de café tostado y molido.

Asimismo, estos resultados, con base en el enfoque de brechas estructurales, revelan el aumento de las desigualdades en las entidades productoras de este tipo de café; bajos ingresos para los trabajadores; escasa o nula protección laboral; la presencia de un mercado de trabajo en peores condiciones para el Estado de México, y, por lo tanto, mayor pobreza.

Lo expresado en este documento suma a la escasa información sobre brechas productivas en la producción del café y, en específico, en el Estado de México. Se sugiere establecer mecanismos que promuevan la producción del café tostado y molido, ya que el comercio internacional revela un aumento de sus exportaciones, por lo que estos resultados se pueden ver como una oportunidad de mercado para quienes están interesados en su producción.

Las limitantes de esta investigación, asociadas con la escasa información de tipo secundario, aconsejan la búsqueda de técnicas diferentes que permitan encontrar las causas de estas brechas productivas. Las in-

investigaciones de campo con los productores de café tostado y molido son una opción.

Fuentes consultadas

- Boisier, Sergio (1980). Técnicas de análisis regional con información limitada. Cuadernos del ILPES, Santiago, 184 pp.
- Canet Brenes, Guillermo; Soto Viquez, Carlos; Ocampo Thomason, Patricia; Rivera Ramírez, Javier; Navarro Hurtado, Alejandra; Guatemala Morales, Guadalupe; Villanueva Rodríguez, Socorro (2016). *La situación y tendencias de la producción de café en América Latina y El Caribe* (No. IICA P31 1). IICA, San José (Costa Rica) Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, AC, Guadalajara (México).
- Carro Paz, Roberto; González Gómez, Daniel (2012). Productividad y competitividad. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina, 18.
- Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café (CENACAFE) (2022). Estados productores de café en México. <http://www.cenacafe.org.mx/estados.html> [02/03/2022].
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA) (2018). Reporte el café en México diagnóstico y perspectiva. CEDRSSA y Cámara de Diputados, LXII Legislatura. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10> [02/03/2022].
- Closset, Mathilde y Leiva, Valentina (2021). La especialización sectorial, un determinante clave de la brecha de productividad entre mipymes y grandes empresas: el caso de México. CEPAL, Santiago, 28 pp.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2010). La hora de la igualdad: brechas por cerrar, caminos por abrir. CEPAL, Santiago, 289 pp.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2012a). Cambio Estructural para la Igualdad. CEPAL, Santiago, 328 pp.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2012b). Los países de renta media: Un nuevo enfoque basado en brechas estructurales. CEPAL, Santiago, 42 pp.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2016a). El enfoque de brechas estructurales: análisis del caso de Costa Rica. Santiago: repositorio CEPAL. 241 pp.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2016b). El enfoque de brechas estructurales de desarrollo y los Objetivos de Desarrollo

- Ilo Sostenible aplicado al análisis de las provincias argentinas. Santiago: repositorio CEPAL. 57 pp.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2016c). Productividad y brechas estructurales en México. *México: Repositorio CEPAL*, 72.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2018). La ineficiencia de la desigualdad. CEPAL, Santiago, 268 pp.
- Gaudin, Yannick, y Pareyón, Rebeca (2020). Brechas estructurales en América Latina y el Caribe: una perspectiva conceptual-metodológica. CEPAL, Santiago, 70 pp.
- Gotteland, Martín y De Pablo, Saturnino (2007). “Algunas verdades sobre el café”, *Revista Chilena de Nutrición*, núm. 2, junio, Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología Santiago, Chile, pp. 105-115.
- Hall, Bronwyn (2011). *Innovation and Productivity* (N.º w17178; p. w17178). National Bureau of Economic Research.
- Hofman, André; Mas, Matilde; Aravena, Claudio; Guevara, Juan Fernández de (Abril-junio de 2017). Crecimiento económico y productividad en Latinoamérica. El proyecto LA-KLEMS. *El Trimestre Económico*, LXXXIV (2)(334), 259-306.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2012). Cálculo de Índices de productividad laboral y del costo unitario de la mano de obra.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2009, 2014 y 2019). Censos Económicos. [https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/\[02/03/2022\]](https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/[02/03/2022])
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2020). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares. [https://www.inegi.org.mx/temas/ingresoshog/\[10/03/2022\]](https://www.inegi.org.mx/temas/ingresoshog/[10/03/2022])
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2021). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx> [10/03/2022]
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2022). Índice Nacional de Precios al Productor. [https://www.inegi.org.mx/temas/inpp/\[02/03/2022\]](https://www.inegi.org.mx/temas/inpp/[02/03/2022])
- International Coffee Organization (ICO) (2020). The Value of Coffee Sustainability, Inclusiveness, and Resilience of the Coffee Global Value Chain. https://www.internationalcoffeecouncil.com/_files/ugd/38d76b_4fc-7b54a15f14a548b2f4a208c2eae6d.pdf [02/03/2022]

- Isaksson, Anders. (2007). Determinants of Total Factor Productivity: A Literature Review. *Research and Statistics Branch, UNIDO, 1*, 101.
- Kaldor, Nicholas (1957). A model of economic growth. *Economic Journal*, 67(268), 591-624.
- Kaldor, Nicholas (1966). *Causes of the Slow Rate of Economic Growth of the United Kingdom: An inaugural lecture*. London: Cambridge University Press.
- Kim, Young Eun y Loayza, Norman (2019). Productivity growth: Patterns and determinants across the world. *World Bank Policy Research Working Paper*, no 8852.
- McCann, Philip (2020). Productivity Perspectives. *Productivity Insights Network*, 1-30.
- Mankiw, Gregory; Romer, David; Weil, David (1992). A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 107, 407-437.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2001). Measuring productivity: Measurement of aggregate and industry-level productivity growth. *OECD manual*. OECD.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2017a). Mexico Policy Brief. <https://www.oecd.org/policy-briefs/mexico-incrementar-la-productividad-en-las-pequenas-empresas-tradicionales.pdf> [28/02/2022]
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2017b). Small, Medium, Strong. Trends in SME Performance and Business Conditions. https://read.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/small-medium-strong-trends-in-sme-performance-and-business-conditions_9789264275683 [28/02/2022]
- Pérez, Pablo (2013). “Las políticas públicas cafetaleras en México: un análisis histórico” *Investigaciones Geográficas*, 72, pp. 121-143.
- Pérez Soto, Francisco (2011). La producción y el consumo de café. ECORFAN, 184.
- Perrotti, Daniel E. y Sánchez, Ricardo (2011). La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe. CEPAL, Santiago de Chile, 83 pp.
- Rendón Rojas, Liliana; Mejía Reyes, Pablo (2015). Producción manufacturera en dos regiones mexiquenses: Evaluación de las leyes de Kaldor. *Economía Sociedad y Territorio*, 15(48), 425-454.

- Rivas Valdivia, Juan Carlos y Gaudin, Yannick (2021). Diagnóstico de las brechas estructurales en México: una aproximación sistémica general. CEPAL, Santiago, 84 pp.
- Secretaría de Economía (SE) (2010). Café puro tostado, en grano o molido, sin descafeinar o descafeinado - especificaciones y métodos de prueba (cancela a la NMX-F-013- SCFI-2000). <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-f-013-scfi-2010.pdf> [02/03/2022]
- Solow, Robert. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Syverson, Chad (2011). What Determines Productivity? *Journal of Economic Literature*, 49(2), 326-365.
- Torres, Felipe (Coord.) (2009). Técnicas para el análisis regional. Desarrollo y aplicaciones. Editorial Trillas, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, 247 pp.
- United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service (USDA) (2020). "Coffee Annual, México City". https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee%20Annual_Mexico%20City_Mexico_05-15-2020 [02/03/2022]

Mercado de café del sur del Estado de México. Una aproximación desde la teoría de costos de transacción y la estrategia empresarial

Celso Rodrigo Rivera Rojo¹ Rosa María Nava Rogel²
Renato Francisco González Sánchez³

Introducción

A pesar de que existen investigaciones sobre los costos de transacción que se presentan en el mercado del café, poco se conoce del contexto en el sur del Estado de México, en donde el tema adquiere relevancia por el incremento en la producción de ese aromático en los últimos años, bajo un contexto de cooperación y oportunismo entre los agentes.

Los temas concernientes con los productores en el sector primario, son amplios y complejos, por lo que es necesario contemplarlos de manera específica, a partir de investigaciones cualitativas que ayuden a comprender los fenómenos involucrados.

La presente investigación tiene por objetivo analizar el mercado de café en el sur del Estado de México desde la teoría de costos de transacción y la organización industrial orientada a la estrategia empresarial. Para ello, se recabó información de campo por medio de entrevistas a abiertas a productores de café y técnicos del Gobierno del Estado de México ente 2019 y 2020, así como una observación directa en la que se tomaron notas escritas y, principalmente, grabaciones de audio.

La ubicación de los productores fue guiada por técnicos del programa de Extensionismo Rural y del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México (CESAVEM). De este modo, la información recabada en campo es interpretada desde el marco teórico referido en el párrafo an-

¹ Dr. En Ciencias Económico-Administrativas. Investigador posdoctoral CONA-CyT adscrito al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico: criverar@uaemex.mx

² Dra. En Ciencias Económico-Administrativas. Profesora de tiempo completo de la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma del Estado de México. Correo electrónico. Correo electrónico: rosanr06@yahoo.com.mx

³ Dr. En Economía. Profesor de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Colima. Correo electrónico: renato.tarea.eco@gmail.com

terior. Asimismo, se utilizaron fuentes de información secundaria para describir elementos como producción, superficie cultivada y cosechada y productividad.

Emplear un enfoque etnográfico es justificado debido a la conjugación “entre la dimensión escrita de la problemática tratada con la interpretación de los discursos de los sujetos” (Torres *et al.*, 2015: 54).

La investigación presentada siguió un muestreo cualitativo, por lo que se limitan los hallazgos encontrados a la región en donde se realizó el estudio. Sin embargo, es una base para realizar investigaciones similares en otras regiones, que ayuden a comprender el fenómeno de una manera más integral.

Marco teórico

Los procesos de intercambio en los mercados de agrícolas se distinguen por ocurrir en estructuras de competencia imperfectas (Grasguis 2019; Macours, 2019; Levi, Rajan, Singhvi y Sheng, 2019) en las que existen clara asimetrías de información que generan e incrementan costos de transacción (Mojo, Fischer y Degefa, 2017; Yu y Bouamra-Mechemache, 2016).

Tales costos son entendidos como el uso de recursos utilizados por emplear el sistema de precios del mercado (Arrow, 1969) y son medidos en función del tiempo, esfuerzo, dinero, entre otros, en los que incurren los individuos a fin de recabar información, negociar y monitorear el cumplimiento de los acuerdos pactados (Williamson, 1985); sin embargo, la teoría de costos de transacción asume que los agentes son propensos a actuar de manera oportunista aprovechando la limitada capacidad racional del ser humano (Hill 1990; Tadelis y Williamson, 2012; Wang, Wang, y Delgado, 2014; Williamson, 1987), lo que conlleva a la generación de contratos siempre incompletos con el riesgo de que alguna de las partes vea afectados sus intereses.

El principal problema de los costos de transacción es que cuando son demasiado elevados desincentivan la participación de los agentes en el mercado (Coase, 1937). En los mercados agrícolas, un productor con altos costos de transacción preferirá destinar su producción al autoconsumo (Woldu y Tadesse, 2015).

Altos costos de transacción restringen la entrada a nuevos mercados (Karing’u, Isaboke y Ndirangu, 2020) y son un determinante de los precios que serán pagados al productor (Mulbah, Ritho y Mburu, 2020). Estos costos pueden ser divididos como aparece en el cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación de costos de transacción

Clasificación	Definición
Costos de información	Uso de recursos para recabar información de mercado: compradores, precios, demanda, características del producto, reputación de la contraparte (Dahlman, 2005; Fischer y Qaim, 2012; Hill, 1990; Ouma <i>et al.</i> , 2010)
Costos de negociación	Uso de recursos para acordar condiciones sobre el intercambio (Dahlman, 2005; Hill, 1990).
Costos de supervisión	Uso de recursos para supervisar el cumplimiento de los acuerdos generados previos al intercambio (Dahlman, 2005; Escobal, 2001; Hill, 1990; Key, Sadoulet y De Janvry, 2000; Ouma <i>et al.</i> , 2010).

Fuente: elaboración propia.

Los costos de transacción son el principal problema dentro de los mercados de café ya que dejan a los productores con una mínima parte de las ganancias generadas a lo largo de las cadenas de valor (Hung Anh y Bokelmann, 2019) pese a que son éstos quienes asumen los principales riesgos (climáticos, sanitarios, cambios en precios de insumos, entre otros).

En este sentido, si los costos de transacción son altos, los productores pueden dejar el mercado como se ha señalado o bien, pueden recurrir a estrategias para reducirlos como generar organizaciones agrícolas, reemplazarlos por costos de coordinación por medio de la integración vertical de procesos o a través de alianzas estratégicas (integración horizontal) con otros productores o agentes de la cadena productiva (Tarzijan y Paredes, 2004).

La literatura disponible sobre el mercado de café en el Estado de México es poco abundante, lo cual resalta la necesidad de contribuir al estado del conocimiento sobre el tema. Entre las investigaciones encontradas se encuentra la publicada por Rivera-Rojo, Nava-Rogel y Ovando-Aldana (2021). En ésta se analizan los costos de información en el mercado de café del sur de Estado de México. Entre sus hallazgos señalan la importancia de un buen funcionamiento del entramado de instituciones informales en la región, ya que funge como mecanismo de transmisión de información para los productores.

De igual manera, Mercado-Salgado, Herrera-Tapia y Nava-Rogel (2020) encuentran que la cadena productiva de café en el sur del Estado de México, se encuentra dirigida por los propios productores a diferen-

cia de otras como la de chile manzano que es orientada por exportadores. Además, señalan la formación de mini-cadenas productivas que son fuente de capital social, el cual puede desembocar en la formación de organizaciones de productores.

La producción de café en el Estado de México se concentra en la región sur, principalmente en los municipios de Amatepec, Luvianos, San Simón de Guerrero, Sultepec, Tejupilco, Temascaltepec y Tlatlaya, (Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café [CENACAFÉ, 2019]. Aunque los municipios de Malinalco y Ocuilan también son productores, apenas aportan 4.1% del total estatal (Cuadro 2).

Cuadro 2. Detalles sobre la producción de café en el Estado de México, 2019

Distrito	Municipio	Superficie		Prod. (ton.)	Rendimiento (ton./ha)	
		Sembrada	Cosechada			
Coatepec Harinas	Malinalco	20	6	9	1.567	
	Ocuilan	14	6	12	2.011	
	Sultepec	600	5	7	1.27	
Total		94	5	28	1.633	
Tejupilco	Amatepec	338	333	367	1.1	
	San Simón de Guerrero	16	14	12	0.848	
	Tejupilco	16	16	10	0.597	
	Temascaltepec	55	36	45	1.236	
	Tlatlaya	26	26	21	0.796	
	Total		451	444	455	1.087

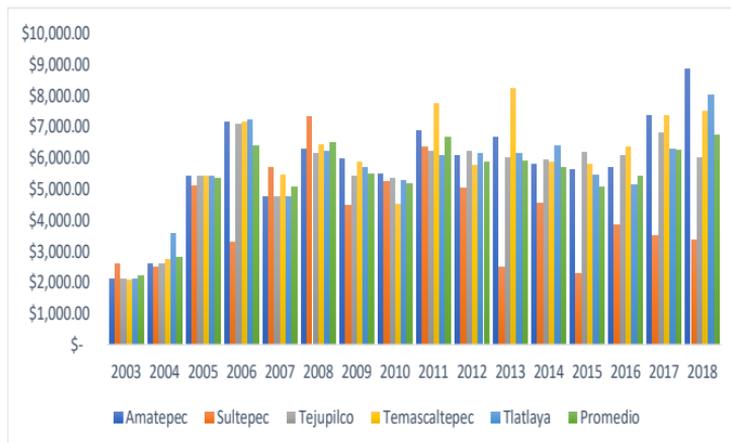
Fuente: CENACAFÉ (2019).

Los precios medios rurales (PMR) pagados por toneladas a los productores muestran una tendencia alcista a lo largo del tiempo para todos los municipios del sur del Estado de México; sin embargo, Amatepec, Temascaltepec y Tlataya son regiones cuyo PMR se encuentran encima de la media nacional que era \$5,414.11¹, excepto en Temascaltepec, cuyo

¹ A partir del Índice Nacional de Precios al Consumidor, se tomó la misma base que considera INEGI (2021) (Índice base segunda quincena de julio 2018 = 100) para obtener los precios en términos reales de las Figuras 1 y 2.

precio fue mayor (\$6,334.84) (SIACON, 2019) como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Precio medio rural por municipio y promedio regional por tonelada de café cereza, 2003-2018 (precios reales por tonelada)



Fuente: elaboración propia con datos del SIACON (2019).

Esta tendencia alcista en los PMR es igualmente observada a nivel nacional, lo cual podría atribuirse a un incremento promedio en la demanda de 2.1% por año (CEDRSSA, 2019). Por su parte, El valor total de la producción en la entidad ha presentado caídas considerables debidas a choques de oferta entre 2012 a 2013 con una pérdida 76.59% (Figura 2) coincidente con la propagación de la plaga de la roya a nivel nacional, así como presencia de incendios forestales y el ingreso ilegal de café originario de Guatemala (CEDRSSA, 2018).

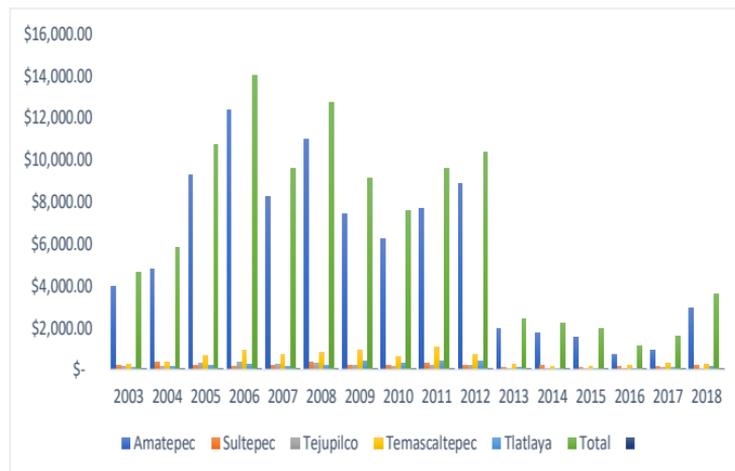
La Figura 2 permite observar que el valor de la producción total del Estado de México está compuesto, esencialmente, por el valor producido en el municipio de Amatepec debido a que en esa zona se concentró 81.46% del producto estatal durante 2018 (SIACON, 2019).

Metodología

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la oferta en el mercado de café en el sur del Estado de México considerando la teoría de costos de transacción, a partir de entrevistas realizadas a cinco reconocidos productores del aromático, un técnico del programa Extensionismo Rural y otro más del CESAVEM (entrevistado 1 y 2). Por

tanto, el presente estudio es cualitativo de corte exploratorio (Denzin y Lincoln, 2011).

Figura 2. Valor de la producción de café cereza (precios reales en miles de pesos), 2003-2018



Fuente: elaboración propia con datos del SIACON (2019).

Considerando la revisión de la literatura, se formularon las siguientes preguntas:

- ¿Cómo son las interacciones entre los agentes del mercado del café en el sur del Estado de México?
- ¿Cuál es la información que tiene disponible el productor que le ayuda a decidir sobre su producción?
- ¿Cómo se realizan las negociaciones del café entre el productor y el vendedor?
- ¿Cómo se realiza la supervisión del producto entregado?

Las entrevistas se realizaron entre abril y agosto de 2020, las cuales fue necesario transcribir para su posterior análisis con el software Atlas. Ti que permitió generar redes semánticas que soportan los hallazgos presentados

Cadena productiva del café en el sur del Estado de México

Los productores del sur del Estado de México pueden optar, en la medida de sus posibilidades, por ciertas alternativas para participar en el mercado que van desde su venta total en cereza hasta procesarlo, empaquetarlo y venderlo directamente al consumidor final. Entre ambos extremos, se encuentran acopiadores locales, detallistas (o personas que cobran por la selección y/o torrefacción del grano), entre otros.

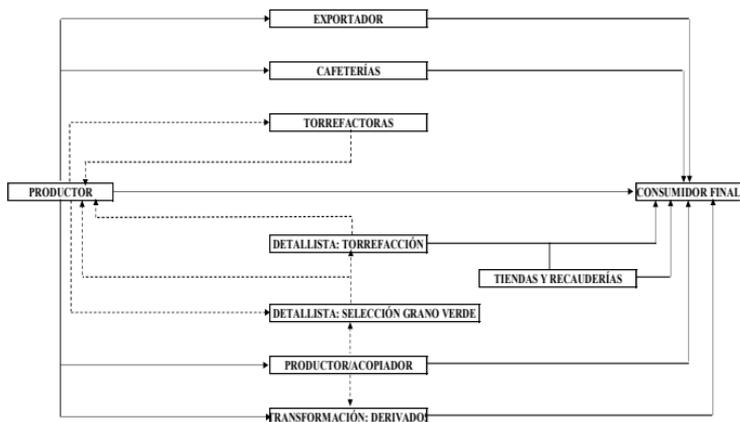
La producción de café es vista por algunos productores, particularmente, los importantes de la región de estudio, como una actividad de prestigio entre la población que indica que el cafecultor es dueño de tierras y se dedica a una actividad que está cobrando cada vez mayor popularidad.

Algunos productores cuentan con niveles de especialización y habilidades empresariales que distan considerablemente del resto y desempeñan un papel relevante dentro de la cadena productiva —entendida como un sistema constituido por agentes que guardan relaciones entre sí alrededor de uno o más productos que implican una serie de operaciones relacionadas con la producción, transformación y comercialización en un contexto determinado (Vizcarra, 2007)—. La participación general de los productores de café en la región sur de la entidad presenta variaciones en cuanto al lugar que ocupan dentro de la misma como se muestra en la Figura 3, la cual fue construida a partir de comunicaciones personales con productores, acopiadores y técnicos extensionistas. Además, aquellos productores cuyo nivel de destreza en el mercado es mayor tienden a convertirse en acopiadores y detallistas de café a fin de cubrir su demanda, puesto que una característica de éste, es la restricción de tierra para poder aumentar el cultivo del aromático.

Cabe señalar, que algunos productores recurren a otros con mayor habilidad para seleccionar el café en verde con el propósito de contar con un producto de mejor calidad, tamaño uniforme y, posteriormente, tostarlo. De este proceso se obtiene un producto de mayor valor en el mercado, que es promocionado como café de origen y puede ser vendido por el detallista, el productor original o una mezcla de ambos.

En este sentido, la cooperativa Cafoa, establece una cuota de \$5 pesos por kilogramo a aquellos productores que requieran de su asistencia para separar el grano de residuos, así como \$15 pesos por kilogramo si desean que el grano sea tostado y molido (Entrevistado 1, comunicación personal, Amatepec, 5 de noviembre de 2020).

Figura 3. Agentes y relaciones en la cadena productiva del café en el sur del Estado de México



Fuente: elaboración propia.

El café como un activo específico

Uno de los aspectos fundamentales que rigen la elección de los agentes entre asumir costos del mercado o de coordinación es la especificidad de activos (Williamson, 1985). Su especificidad se da en la medida en que un activo pierde su valor fuera de la relación de mercado en que se encuentra sin disponer de alternativas para su uso económico en el mercado sin incurrir en pérdidas considerables (Noteboom, 1993) ya que representa una inversión especializada que respalda cierto tipo de transacciones y que no puede ser utilizada para otros fines (Rugeles y Delgado, 2003).

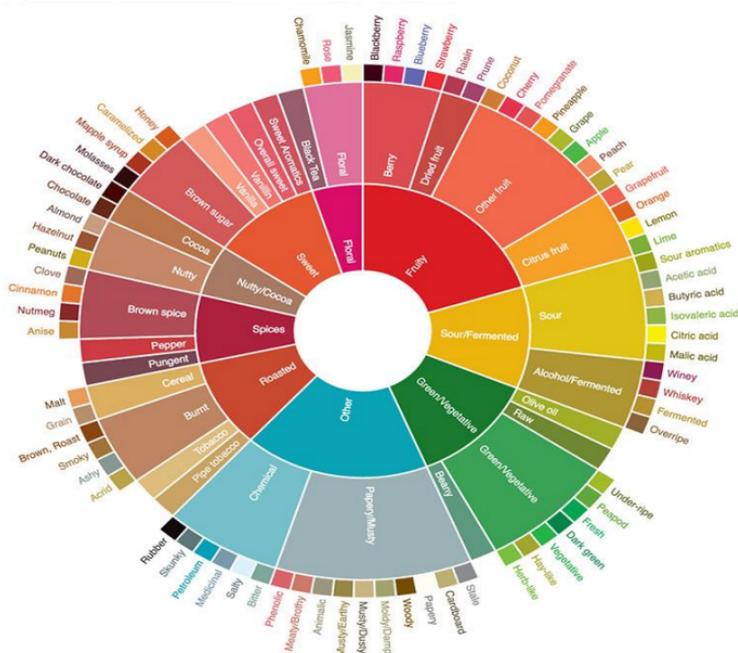
El café es un ejemplo de un activo específico dadas las inversiones que deben realizarse para lograr un grano de alta calidad que es valorado dentro del mercado y, particularmente, por expertos. Además, posee especificidad de sitio al depender de ciertas condiciones climáticas para su producción.

Tal condición, los productores enfrentan asimetrías de información para conocer y poder valorar su grano frente a expertos. En consecuencia, los procesos de negociación carecen, igualmente, de simetría dado que existen diferencias de habilidades para el intercambio que se ven reflejadas en los bajos márgenes de utilidad que el productor retiene del

total generado a lo largo de la cadena de valor (Hung Anh y Bokelmann, 2019).

La calidad del café, específicamente el perfil de su aroma puede ser evaluada a detalle por expertos capaces de detectar condiciones climatológicas del entorno de los cafetales, insectos, heladas, humedad del grano y altura -que representan especificidad de sitio-, así como coloración del grano, vejez de la planta, humedad -especificidad física- tipo de almacenamiento, calidad en la selección, en el lavado o secado, en su tostado e incluso en la temperatura exacta del agua para la preparación de una taza, sabores del terreno donde fue cultivado y otros que influyen en el perfil de aromas (Figura 4) y que determina su valor de mercado.

Figura 4. Perfil de aromas del café



Fuente: Quécafé (2019).

En el mercado de café del sur del Estado de México los productores enfrentan conductas oportunistas por parte de “coyotes” locales quienes ofrecen pagar precios 20% inferiores del precio requerido para poder obtener ganancias de la venta de café cereza, es decir, de \$10.00 pesos

necesarios por bote necesarios, ofrecen pagar \$8.00 pesos. A lo anterior se deben añadir intentos por parte de empresas como Nestlé por pagar \$6.00 pesos por la misma cantidad de café (Entrevistado 2, comunicación personal, San Diego Cuentla, Tejuipilco, 18 de junio, 2019).

Asimetrías de información, costos de transacción y oportunismo

Los mercados agrícolas se caracterizan por ser estructuras de competencia imperfecta (Rogers y Sexton, 1994) en las que prevalece un entorno de incertidumbre y costos de transacción elevados (Yu y Bouamra-Mechemache, 2016; Mojo, Fischer y Degefa 2017), los cuales constituyen el principal problema del mercado de café (Gathura, 2013; Mai, Shakur, y Cassells, 2018) y obstaculiza el intercambio (Muradian y Pelupessy, 2005) al grado que, si éstos son demasiado altos, los productores pueden salir del mercado (Woldu y Tadesse, 2015).

Uno de los principales problemas en mercados imperfectos es que los agentes poseen información incompleta sobre el resto de agentes afectando sus elecciones (Kreps y Wilson, 1981; Macours, 2019); lo cual incrementa el riesgo de sufrir conductas oportunistas que pueden observarse por medio de información distorsionada e incompleta cuya intención es confundir (García y Taboada, 2012) y obtener ventaja de otros agentes (Hill, 1990; Yeager, 2018).

La presencia de asimetrías de información incrementa los costos de transacción (Yu y Bouamra-Mechemache, 2016; Mojo, Fischer y Degefa, 2017) y cada productor debe asumir tales costos de búsqueda. Ante este escenario, algunas veces resulta más fácil acudir a acopiadores dada la facilidad para encontrarlos en comparación con otros compradores minoristas; sin embargo, el productor se ve en desventaja al negociar el precio del grano debido a la falta de información de mercado y de los criterios vigentes para asignar un precio el grano.

Tales criterios son regularmente evaluados subjetivamente en el sur del Estado de México debido a la falta de tecnología para asignar un precio al producto de acuerdo a sus características. Por ello, los acopiadores pueden comportarse de manera oportunista: “[...] Lo huelo y en el olfato yo me doy cuenta... a veces nomás viéndolo me doy cuenta que no es de este año. O si la vista me dice ‘sí, sí es de este año’” (Entrevistado 1, comunicación personal, Amatepec, 5 de noviembre de 2020). De este modo, el acopiador, valúa el grano con base en criterios subjetivos que, desde su posición como comprador, pueden ser utilizados para subvaluar el producto.

Con el propósito de evitar fricciones en el proceso de negociación, algunos acopiadores limitan su compra de grano a productores que cuentan con cierto nivel de reputación en el mercado y de comunidades cercanas, aunque asumen que los productores pueden ser oportunistas: “Mismo San Gabriel, San Diego no sabemos... Ellos dicen que sí, pero no sabemos realmente si son cien por ciento orgánicos” (Cafeticultor 1, Tenería, Tejupilco, 11 de noviembre de 2020). En consecuencia, la falta de información sobre los criterios a evaluar en la asignación de precios del café, es motivo de desconfianza ante posibles conductas oportunistas por parte del comprador.

Además, los costos de transporte representan un problema para productores localizados en comunidades que están apartadas de sus cabeceras municipales o poblados con actividad comercial. Principalmente, afecta a productores, hombres y mujeres, de edad avanzada que deben caminar con su producto para ofrecerlo en las tiendas más cercanas:

Antes, cuando vendía mucho café me cargaba 10 kilos [...], me hacía media hora de aquí a Coatepec caminando, pero ahora ya ni para salir lejos. Antes ahorita me ve que hasta el bordoncito dejé; pero este... después voy y me siento porque siento que hasta los pies empiezan a temblar. No tengo mucha fuerza (Cafeticultora 2, Comunicación personal, Terroncillos, Tlatlaya, 12 de noviembre de 2020).

Tal situación está enmarcada dentro de un contexto en que el intercambio no está reforzado formalmente sino mediante acuerdos informales que pueden no ser respetados, especialmente, si se trata de productores muy pequeños que ofertan cantidades mínimas entre los posibles compradores:

[...] Como le digo que si me dicen – Me traes diez kilos o cinco kilos para el miércoles. Yo me tengo que pegar a espulgarlo a prepararlo... Resulta que ya este... el martes vinieron los de Los Timbres y ya le trajeron café y se los dan hasta en 50 pesos les vienen dando el kilo, pero no es... es un café... lo que es de aquí de Los Timbres a El Veladero hay un café que este... que no está bueno, está salado (Cafeticultora 3, Terroncillo, Tlatlaya, Comunicación personal, 12 de noviembre de 2020).

Además, los compradores anteponen el precio a la calidad del grano, aunque es perceptible para los productores locales que el café puede ser de mala calidad como se menciona previamente. El productor que establece un trato verbal, tiene que asumir los costos de traslado hasta el vendedor que ya realizó la compra con otro, dejando de lado el acuerdo establecido originalmente.

Aunque de acuerdo con Elster (2009), el incumplimiento de normas sociales se ve sancionado públicamente mediante el desprestigio y otras formas de desincentivo, las asimetrías presentes en el mercado y en las comunidades son tales que dificultan la aplicación de sanciones a cargo de pequeños cafecultores que sufren oportunismo por parte de tenderos, acopiadores locales y consumidores minoristas.

Las negociaciones que los productores entablan están relacionadas con asimetrías de información presentes en el mercado local, así como con su capacidad para asignar un justo con los compradores y sus propias habilidades para llegar a acuerdos. Como se observa en la Figura 5, los productores cuentan con poca o nula información acerca de la ubicación de compradores y precios, lo cual los orilla a salir de sus comunidades incrementándose sus costos de transacción y enfrentando posibles conductas de oportunismo.

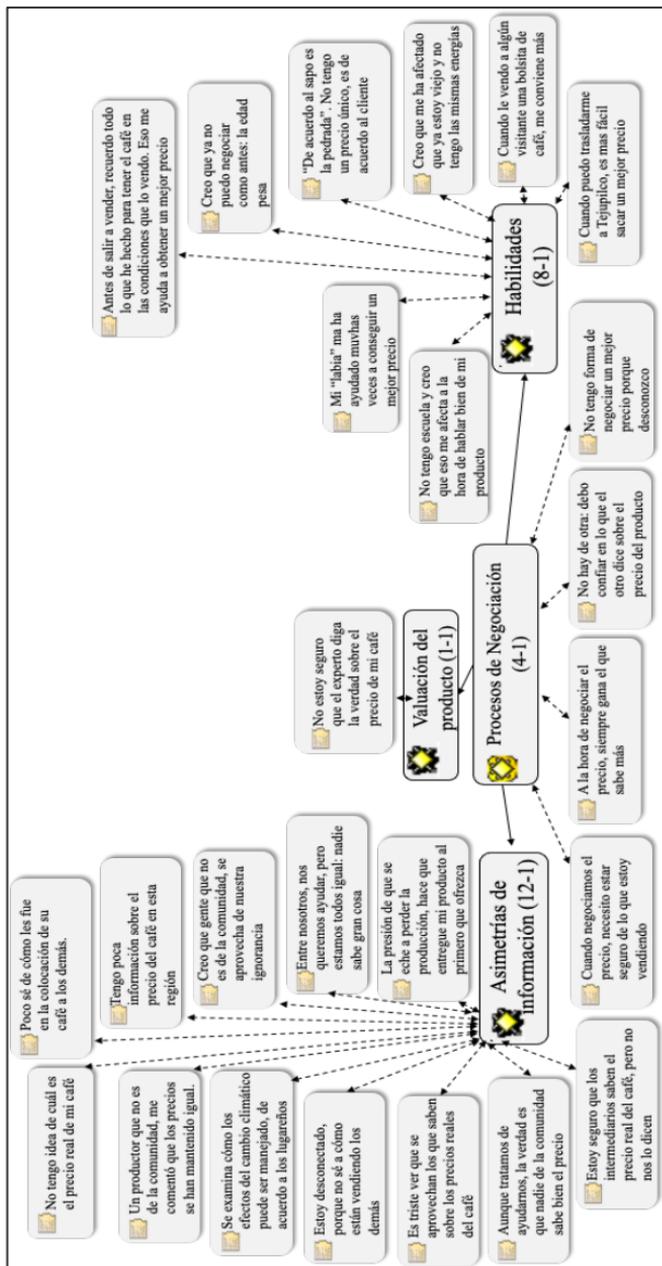
Cabe resaltar, que el mercado de café en el sur del Estado de México no se conforma por consumidores de exigencia:

La gente que compra el buen café no está aquí en la región. Aquí en la región toman cascarilla. A ellos no les gusta el café criollo como le llaman. Entonces yo las ventas las tengo en Valle de Bravo, Tejupilco, Toluca [...] (Cafecultor 1, Tenería, Tejupilco, 11 de noviembre de 2020).

Por tal motivo, dentro de los principales obstáculos para vender el grano se encuentran

Primero, encontrar comprador, segundo el precio, tercero la movilización del producto [...] yo lo siento a \$5.00 pesos en cereza... yo lo siento barato [...] en cereza los productores, este... no hay ganancia porque dices –Te lo voy a llevar todavía y quieres que... pagármelo a \$5.00 pesos... pues no. Entonces dices – Me lo vas a pagar a \$5.00 pesos, ven por él acá, pero la mayoría de acopiadores no quieren hacer eso (Cafecultor 1, Tenería, Tejupilco, 11 de noviembre de 2020).

Figura 5. Red semántica de costos de información y negociación



Fuente: Elaboración propia con de Atlas. II

Organización entre productores de café y costos de transacción

Una posible forma de reducir los costos de transacción en los mercados agrícolas es la conformación de organizaciones de productores (Barraud-Didier, Henninger y Akreimi, 2012; Mojo, Fischer y Degefa, 2016) debido a que son fuente de información para sus miembros, les permiten ganar poder de negociación y de supervisión del cumplimiento de contratos (Zimin, Dan y Tao, 2018). Empero, en el sur del Estado de México solamente existe una única organización legalmente conformada: “Cafoa” que tiene fija un costo por acción de 60 mil pesos, cantidad que es inasequible para la mayoría de los productores y que, en consecuencia, dificulta la organización entre cafeticultores.

Adicionalmente, los productores enfrentan restricciones para organizarse como falta de tiempo, dinero y un alto costo de oportunidad integrado por las remuneraciones de sus empleos y que representan el ingreso diario que llevan a sus hogares; o bien, por el esfuerzo que dejan de destinar a sus propias parcelas para acudir a reuniones en las que los intereses respecto al café suelen ser diferentes en tanto que su producción está diversificada y no representa el principal cultivo para todos.

Lo que ha pasado... ¿cómo le dijera o se lo explicara? El detalle es que no es tan sencillo [...], no hay fuentes de empleo. Entonces, ¿qué es lo que pasa? Cada quien se enfoca en sacar para la comida. Cada quien se enfoca a buscarle de donde se pueda. Entonces es donde no coincidimos, no podemos (Cafeticultor 4, comunicación personal, Los timbres, Amatepec, 5 de noviembre de 2020).

Lo cual conduce a una situación paradójica en la que para salir de la pobreza es necesario contar con una base de recursos económicos mínima que permita cubrir *gastos de organización*, entendidos como el uso de recursos, medidos en términos de tiempo, esfuerzo, dinero y costos de oportunidad y que son necesarios y suficientes para establecer vínculos organizativos entre productores.

En lugar de cubrir sus gastos de organización, los miembros de las comunidades deben canalizar sus recursos en cubrir necesidades inmediatas, esencialmente, cubrir un mínimo calórico que les permita reponer su proceso entrópico diario y de sus familias, dificultando así actividades organizativas. Queda de manifiesto una contradicción: se necesita no ser tan pobre para organizarse en búsqueda de salir de ese nivel de pobreza.

En contraste con lo anterior, los productores con mayor presencia en el mercado, encuentran restricciones para organizarse en su búsqueda por la consolidación individual, que se manifiesta en una amplia proliferación de marcas que compiten por el mercado local, capturando el 100% de las utilidades y administrando la totalidad de los recursos. En comparación con los productores más pequeños, los de mayor tamaño encuentran su principal obstáculo:

Mi obstáculo, para mi producción son los terrenos. O sea, aquí no hay terrenos ya donde sembrar. Entonces, mientras más terreno pues tú ya puedes incrementar tu producción (Cafeticultor 1, Tenería, Tejupilco, 11 de noviembre de 2020).

Un elemento importante que ha facilitado la organización de cafeticultores, es la presencia de técnicos extensionistas, quienes intentan motivar a los productores para mejorar sus prácticas y organizarse; sin embargo, una vez que los extensionistas dejan de brindar su servicio, las organizaciones informales creadas, se disuelven. Con ello se aprecia que las redes de organización pueden requerir de acompañamiento y supervisión prolongada por parte del Estado, el cual atravesó por un proceso de cambio institucional tendiente a minimizar su participación en los mercados (Ibarra, 2017), dejando a los productores expuestos a dinámicas de mercado (oferta, demanda, precios internacionales, estándares de calidad, mercados de futuros, entre otros) que regularmente no comprenden.

Integración vertical en el mercado del café y costos de transacción

A fin de reducir costos de transacción, algunos productores tienden a integrar verticalmente sus procesos, es decir, abarcar actividades a lo largo de la cadena de producción (Tarziján y Paredes, 2004), lo cual es posible para unos cuantos productores que son capaces de producir planta de café como es el caso del “Vivero San Miguel”, ubicado en el municipio de Amatepec que cuenta con semilla certificada por el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas que cultiva café arábigo (Marsellesa, Geisha, Colombia, Pacamara, Corbón, Caturra, Costa Rica 95, Castillo, entre otros) y, al mismo tiempo, es productor de café hasta su presentación en tostado.

Algunos productores optan por reducir los costos que implica recabar información, negociar contratos y supervisar su cumplimiento, reemplazando al mercado por una estructura de mando vertical, en la

que integran tecnología y conocimientos necesarios para llevar a cabo la mayor parte o todos los procesos siguientes a la cosecha dentro de su propia organización. Esto es posible cuando los costos de coordinación son menores a los de transacción y, además, cuentan con recursos económicos y/o financieros para su adquisición. De acuerdo con Tarziján y Paredes (2004), en entornos en los que la base institucional formal no reduce los costos de mercado, es más frecuente que los procesos sean integrados en forma vertical.

La integración vertical de proceso conlleva adquirir conocimiento especializado, el cual juega un papel crucial en el mercado del café y genera beneficios para los agentes. Sin embargo, dadas las condiciones socioeconómicas de los productores, no es posible que todos puedan adquirir activos fijos como hornos de tostado o intangibles, como son la especialización en su manejo, debido a que necesita de montos de inversión inasequibles para los cafecultores de la región:

[...] la persona que me vino a enseñar a tostar, vino tres cuatro veces aquí a mi casa, pero eran 13 a 15 mil pesos que tenía yo que pagar, pero es uno de los mejores tostadores de café que hay en el país (Cafecultor 5, Amatepec, 12 de octubre de 2020).

No obstante, la mayor parte de los cafecultores se encuentran en condiciones de pobreza, por lo cual integrar verticalmente algunos procesos no es factible, debido a la escasez de recursos económicos y por falta de capacidades empresariales. Sin embargo, en el mercado han emergido otras opciones que intentan solucionar parte de estas problemáticas.

Alianzas estratégicas, reputación y costos de transacción

Una forma de reducir los costos de transacción en el mercado de café consiste en establecer alianzas estratégicas entre productores más experimentados y aquellos que disponen de un volumen de producción considerable para cubrir la creciente demanda: “[...] yo no me puedo impulsar solo como Carmesí. Tengo que jalar porque pues la brecha ya está abriéndose... (Cafecultor 4, San Andrés de los Gama, Temascaltepec, 19 de octubre de 2020)”.

La falta de capacidad de producción de algunos productores para satisfacer la demanda del mercado, así como los altos costos de transacción por parte de productores más pequeños, suelen dar origen a alianzas entre cafecultores para complementar sus fortalezas y reducir

sus desventajas: “Yo no tengo problema de mercado. Yo mi problema es que no tengo el suficiente café para vender (Cafeticultor 5, Amatepec, 12 de octubre de 2020)”.

En estas alianzas el productor líder establece criterios de producción y selección de grano para poder ser comprado a los productores aliados como ser café reciente que no esté deteriorado por un mal almacenaje o una excesiva exposición al sol cuando se utiliza el proceso seco en lugar de lavado.

De tales alianzas en las que participan productores con un alto nivel de reputación basada en la calidad de su producto deviene la posibilidad de participar en el “mercado de origen” donde es requerido que en el empaque se muestre la región geográfica en que es cultivado el grano, de qué finca proviene e incluso, dar a conocer quién es el productor; así como las condiciones medias en que se produce.

Bajo este esquema, se cobra un promedio de \$60.00 pesos por kilogramo por la selección y tostado del grano que llega en costales desde el productor original hasta las instalaciones del productor asociado que realizará el trabajo:

Ya al rato viene la persona a recogerlo, pero ya con la idea... con la imagen del productor, no con Carmesí porque pues si lo manejo con Carmesí la zona no crece... (Cafeticultor 4, San Andrés de los Gama, Temascaltepec, 19 de octubre de 2020).

Toda la información sobre el café aparece, entonces, en el empaque con la etiqueta del productor original al igual que el logotipo de la finca que procesó el aromático. Esta última, con mayor reputación, transfiere parte de su prestigio, generando confianza entre los consumidores y reduciendo costos de transacción al ser un producto identificable en el mercado, con un precio al público de 200 pesos por kilogramo al contado.

Al establecer vínculos de cooperación con un productor mejor posicionado en el mercado, los productores reducen su esfuerzo para colocar su producción en el mercado y el oportunismo por parte del comprador se reduce, debido a que los pequeños productores reciben orientación por parte del cafeticultor con el que se han aliado.

Conclusiones

El mercado de café del sur del Estado de México presenta asimetrías de información entre productores y compradores (acopiadores, tenderos,

distribuidores) que repercuten, principalmente, en contra de los primeros. Los efectos se aprecian en las dificultades que los cafeticultores encuentran para detectar compradores y localizar a aquellos que paguen mejores precios.

En el mismo sentido, se observan asimetrías en los procesos de negociación que ponen en desventaja a los productores, lo cual se debe a la falta de información señalada y a que el café es un activo específico que ve afectado su precio en función de diversos elementos como la humedad, calidad, tamaño y procesamiento del grano, los cuales no son objetivamente evaluados por medio de instrumentos de medición tecnológicos, sino que son revisados subjetivamente por parte de acopiadores.

A partir de tales asimetrías, los productores tienden a construir alianzas estratégicas que involucran creación de cooperativas, integración vertical y transferencia de reputación de los productores más reconocidos hacia otros con el objetivo de reducir el riesgo de sufrir oportunismo y reducir sus costos de transacción.

Ante la evidencia de un escenario de condiciones asimétricas, se recomienda a organismos gubernamentales, formuladores de política pública y tomadores de decisiones dentro del sector público, generar estrategias que permitan acceder a información de mercado a los cafeticultores de café del sur del Estado de México, así como crear mecanismos que permitan reducir los riesgos asociados al oportunismo por parte de acopiadores hacia pequeños productores y, en consecuencia, disminuir sus costos de negociación.

Fuentes consultadas

- Arrow, K. J. (1969). *The organization of economic activity: issues pertinent to the choice of the market versus nonmarket allocation*. En *The Analysis and Evaluation of Public Expenditures: the PPB System* (Charles A. Thitschler). Edit. Joint Economic Committee. Pp 47-64. Washington D.C.
- Barraud-Didier, V., Henninger M.C. y Akreml, A. (2012). The relationship between members' trust and participation in the governance of cooperatives: the role of organizational commitment. *International Food and Agribusiness Management Review*, 15(1), 1-24. https://ageconsearch.umn.edu/bitstream/120855/2/20110072_Formatted.pdf
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2018). *El café en México: diagnóstico y perspectiva*. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30El%20café%20en%20México:%20diagnóstico%20y%20perspectiva.pdf>

- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2019). *Propuestas para reactivar la producción y comercialización de café en México 2019-2024*. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/96Las%20propuestas%20para%20reactivar%20la%20producci%C3%B3n%20y%20comercializaci%C3%B3n%20de%20Caf%C3%A9%2>
- Centro Nacional de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del Café (CENACAFE) (2019). *Plataformas de información*. <http://www.cenacafe.org.mx/plataformas.htm02019%2008.pdf>
- Coase, R. (1937). The Nature of the Firm, *Economica*, (November), pp. 386–405. [https://doi.org/10.1016/S0039-6109\(16\)37642-3](https://doi.org/10.1016/S0039-6109(16)37642-3)
- Dahlman, C. J. (2005). The Problem of Externality. *The Journal of Law and Economics*, 22(1), 141–162. <https://doi.org/10.1086/466936>
- Denzin, N. K., Y Lincoln, Y. S. (Eds.). (2011). *The Sage handbook of qualitative research*. Sage, Los Angeles, USA.
- Elster, J. (2009). *Egonomics: Análisis de la interacción entre racionalidad, emoción, preferencias y normas sociales en la economía de la acción individual y sus decisiones*. Edit. Gedisa. España.
- Escobal, J. (2001). Costos de transacción en la agricultura peruana: una primera aproximación a su medición e impacto. MISC. https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/51504/ssoar-2001-escobal-Costos_de_transaccion_en_la.pdf?sequence=3
- Fischer, E., y Qaim, M. (2012). Linking Smallholders to Markets: Determinants and Impacts of Farmer Collective Action in Kenya. *World Development*, 40(6), 1255–1268. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.11.018>
- García Garnica, A., & Taboada Ibarra, E. L. (2012). Teoría de la empresa: las propuestas de Coase, Alchian y Demsetz, Williamson, Penrose y Nooteboom. *Economía: teoría y práctica*, (36), 9-42. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/etp/n36/n36a2.pdf>
- Gathura, M. N. (2013). Factors affecting Small-Scale Coffee Production in Githunguri District, Kenya. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 3(9), 132–149. <https://doi.org/10.6007/ijarbs/v3-i9/195>
- Grashuis, J. (2019). Spatial Competition in the Iowa Corn Market: Informing the Pricing Behavior of Corporate and Cooperative Grain Merchants. *Sustainability*, 11(4), 1 – 13. <https://doi.org/10.3390/su11041010>

- Hill, C. W. L. (1990). Cooperation, Opportunism, and the Invisible Hand: Implications for Transaction Cost Theory. *Academy of Management Review*, 15(3), 500-513. <https://doi.org/10.5465/amr.1990.4309111>
- Hung Anh, N., y Bokelmann, W. (2019). Determinants of smallholders' market preferences: The case of sustainable certified coffee farmers in Vietnam. *Sustainability*, 11(10), 1-20. <https://doi.org/10.3390/su11102897>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Banco de Información Económica*. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0>
- Ibarra, D. (2017). *Mercados abiertos y pactos sociales: Democracia arrinconada*. Edit. Fondo de Cultura Económica. México.
- Karing'u, K. N. Isaboke, H. N. y Ndirangu, S. N. (2020). Transaction costs and participation in avocado export marketing in Murang'a County, Kenya. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 11(3) <https://doi.org/10.1108/JADEE-12-2019-0206>
- Karing'u, K. N., Isaboke, H. N., y Ndirangu, S. N. (2021). Transaction costs and participation in avocado export marketing in Murang'a County, Kenya. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*, 11(3), 221-240. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/JADEE-12-2019-0206>
- Key, N. Sadoulet, E. y De de Janvry, A. (2000). Transactions costs and agricultural household supply response. *American Journal of Agricultural Economics*, 82(2), 245-259. <https://doi.org/10.1111/0002-9092.00022>
- Kreps, D. M. y Wilson, R. (1982). *Reputation and imperfect information*. *Journal of economic theory*, 27(2), 253-279.
- Levi, R., Rajan, M., Singhvi, S. y Zheng, Y. (2019). Unifying Agricultural Wholesale Markets: Impact on Market Prices and Farmers' Profitability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, forthcoming. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3381256>
- Mai, T. C., Shakur, S., y Cassells, S. (2018). Testing vertical price transmission for Vietnam's Robusta coffee. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 62(4), 563-575. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12260>
- Marcours, K. (2019). Farmers' Demand and the Traits and Diffusion of Agricultural Innovations in Developing Countries. *Annual Review of Resource Economics*, 11, pp. 483-499. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-094045>
- Mercado-Salgado, P., Herrera-Tapia, F., Y Nava-Rogel, R. (2020). Minicadenas de producción con vocación agrícola desde el enfoque de capital social. *RECAI Revista De Estudios En Contaduría, Administración e Informática*, pp. 20 - 45. [doi:10.36677/recai.v9i26.14281](https://doi.org/10.36677/recai.v9i26.14281)

- Mojo, D., Fischer, C., y Degefa, T. (2017). The determinants and economic impacts of membership in coffee farmer cooperatives: recent evidence from rural Ethiopia. *Journal of Rural Studies*, 50, 84-94. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.12.010>
- Mulbah, F. F., Ritho, C., y Mburu, J. (2020). Do transaction costs influence smallholder rubber farmers' choice of selling outlets? Evidence from Liberia. *Development in Practice*, 1-12. <https://doi.org/10.1080/09614524.2020.1789068>
- Muradian, R., y Pelulessy, W. (2005). Governing the coffee chain: The role of voluntary regulatory Systems. *World Development*, 33(12), 2029-2044. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2005.06.007>
- Noteboom, B. (1993). Research note: An analysis of specificity in transaction cost economics. *Organization Studies*, 14(3), 443-451. <https://doi.org/10.1177/017084069301400306>
- Ouma, E., Jagwe, J., Obare, G. A., y Abele, S. (2010). Determinants of smallholder farmers' participation in banana markets in Central Africa: The role of transaction costs. *Agricultural Economics*, 41(2), 111-122. <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2009.00429.x>
- Quecafé.info. (1 de octubre de 2020). ¿Cómo se determina la calidad del café? <https://quecafe.info/como-se-determina-la-calidad-del-cafe/>
- Rivera-Rojo, C. R., Nava-Rogel, R. M y Ovando-Aldana, W. (2021). Instituciones y costos de información en el sur del Estado de México. *Custos e agonegocios*, 1(17), pp. 113-144. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v17/OK%206%20costos%20english.pdf>
- Rogers, R. y Sexton, R. (1994). Assessing the Importance of Oligopsony Power in Agricultural Markets. *American Journal of Agricultural Economics*, 76(5), 1143-1150. <https://doi.org/10.2307/1243407>
- Rugeles, L., y Delgado, C. (2020). La construcción de lo público desde el sector local productivo colombiano. La especificidad de los activos en palma de aceite y ganadería: un análisis regional comparado. *Revista Instituciones y Desarrollo*, 14(15), pp. 271-307. <http://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/13539>
- SIACON. (2019). Producción agrícola municipal. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Tadelis, S., y Williamson, O. E. (2012). *Transaction cost economics*. The handbook of organizational economics [Editores: Robert Gibbons y Johan Roberts], Princeton Oxford, 159-193. <https://doi.org/10.1515/9781400845354-006>

- Tarziján, J. y Paredes, R. (2004). *Organización industrial para la estrategia empresarial*. Edit. McGraw Hill. México.
- Torres O. F., Herrera T. F., Vizcarra B. I. y Lutz B. B. H. (2015). Etnografía institucional del Proyecto Estratégico de Seguridad Alimentaria (PESA) en una comunidad mazahua. *Nueva antropología*, 28(82), 51-81. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-06362015000100004&script=sci_abstract&tlng=pt
- Vizcarra, J. (2007). *Diccionario de economía. Términos, ideas y fenómenos económicos*. Grupo Editorial Patria, México, D.F, 3-162.
- Wang, H. H., Wang, Y., y Delgado, M. S. (2014). The transition to modern agriculture: Contract farming in developing economies. *American Journal of Agricultural Economics*, 96(5), 1257-1271. <https://doi.org/10.1093/ajae/aau036>
- Williamson, O. E. (1985). Assessing contract. *Journal of Law, Economics, y Organization*, 1(1), 177-208. <https://www.jstor.org/stable/764911>
- Williamson, O. E. (1987). Transaction cost economics: The comparative contracting perspective. *Journal of economic behavior y organization*, 8(4), 617-625. [https://doi.org/10.1016/0167-2681\(87\)90038-2](https://doi.org/10.1016/0167-2681(87)90038-2)
- Woldu, T., y Tadesse, F. (2015, agosto 9-15). *Women's Participation in Agricultural Cooperatives in Ethiopia*. International conference of agricultural economist, Milán, Italia. <https://ageconsearch.umn.edu/record/210967/>
- Yeager, T. J. (2018). Institutions and Economic Development. En *Institutions, Transition Economies, and Economic Development*. 113-126. <https://doi.org/10.4324/9780429499760-9>
- Yu, J., y Bouamra-Mechemache, Z. (2016). Production standards, competition and vertical relationship. *European Review of Agricultural Economics*, 43(1), 79-111. <https://doi.org/10.1093/erae/jbv004>
- Zimin L., Dan Y. y Tao W, (2018) Agricultural production mode transformation and production efficiency: A labor division and cooperation lens. *China Agricultural Economic Review*, 11(1), 160-179. <https://doi.org/10.1108/CAER-07-2017-0129>.

La producción y comercialización del café en el sur del Estado de México

Felipe de Jesús González Razo¹

Samuel Rebollar Rebollar²

José Luis Morales Hernández³

Gabriela Rodríguez Licea⁴

Juvencio Hernández Martínez⁵

Introducción

México posee no sólo las cualidades idóneas, sino una vocación natural para la producción de cafés de especialidad sobre todo si tomamos en cuenta que: a) nuestra producción es predominantemente de café de sombra y orgánico, por el resguardo que brindan las selvas, ecosistema donde se cultiva la mayor cantidad de café en nuestro país, b) el 92% de los productores de café en México poseen superficies menores a cinco hectáreas y c) al no disponer de grandes cantidades de capital para la inversión, se reduce el uso de variedades híbridas y de agroquímicos, haciendo con ello un manejo de producto muy cercano al interés demostrado en el mundo por el consumo de productos alimenticios sanos (González *et al.*, 2019).

Estos factores, que durante un tiempo fueron vistos como debilidades del sector cafetalero mexicano, permiten otorgar un valor agregado per-se al café mexicano, permitiendo, por lo tanto, que grandes sectores de la producción de café en nuestro país, estén en posibilidades de ser consolidados y por tanto reconocidos como productores de café de es-

¹ Unidad Académica Profesional Tejupilco-Universidad Autónoma del Estado de México. C. Leopoldo Flores Valdés s/n, Col. Rincón de Aguirre, Tejupilco, México. C. P. 51412. Tel. 724 2675437, ext. 124 (fegora24@yahoo.com.mx)

² Centro Universitario UAEM-Temasaltepec. Carretera Toluca Tejupilco km 67.5, Barrio de Santiago, Temascaltepec, México. CP. 51300. (samrere@hotmail.com).

³ Unidad Académica Profesional Tejupilco-Universidad Autónoma del Estado de México. C. Leopoldo Flores Valdés s/n, Col. Rincón de Aguirre, Tejupilco, México. C. P. 51412. Tel. 724 2675437. (joselui2001@hotmail.com).

⁴ Centro Universitario UAEM Amecameca. Carretera Amecameca km 2.5 C.P. 56900 Col. Centro 01 (597) 978 21 58 (gabyrl1972@hotmail.com)

⁵ Centro Universitario UAEM Texcoco. Av. Jardín Zumpango s/n, El Tejocote, Texcoco, México. CP. 56259. (jh-martinez1214@yahoo.com.mx)

pecialidad, obteniendo con ello el beneficio que eso implica (González, 2004; Cruz *et al.*, 2015).

La nueva visión reconoce la relación entre calidad y consumo, de modo que el café es visto como un producto diferenciado, en un mercado segmentado, que cada día demanda mayor calidad; de esta manera, la calidad en cada punto de la cadena de comercialización del café puede ser la respuesta para mejorar el ingreso de los diferentes agentes participantes (ASERCA, 2002).

Estadísticas de la Organización Internacional del Café (ICO, 2022), señalan que durante la cosecha 2019/20, el 73.7% de la producción mundial de café se concentró en cinco países: Brasil (35.3%), Vietnam (18.5%), Colombia (8.5%), Indonesia (6.9%) y Etiopía (4.5%); por su parte, México se ubicó en la novena posición, con una participación del 2.4% de la producción mundial, 3.9 millones de sacos (239 mil t), esto es, un 8.4% menos respecto a la cosecha del año anterior.

En lo que se refiere al comercio internacional del café, durante la cosecha 2019/20, el 79.8% de la producción mundial del aromático se comercializó en los mercados del mundo; en este sentido, las exportaciones totales crecieron a una tasa promedio anual de 3.2% en la última década (2009-2019), con un volumen promedio de 113 millones de sacos (6.8 millones de t); cinco países participaron en conjunto con el 72% del volumen total exportado en el año 2019: Brasil (30.9%), Vietnam (20.8%), Colombia (10.4%), Honduras (5.1%) e Indonesia (4.8%); por su parte México se ubicó en la doceava posición con 2.6 millones de sacos (157 mil t), el 1.9% de las exportaciones mundiales.

Por su parte, las importaciones mundiales de café, durante el periodo 2000-2019, crecieron a un ritmo del 2.6%, siendo los principales países importadores Estados Unidos (22.9%), Alemania (16.6%), Italia (8.1%) y Japón (5.9%), los cuales en conjunto concentran más del 50% del mercado global de las importaciones.

En nuestro país, las regiones cafetaleras se concentran en cuatro zonas: las vertientes del Golfo de México y del Océano Pacífico, la región Centro Norte y la del Soconusco en Chiapas, las cuales en conjunto abarcan 398 municipios en todos los estados productores (CEFP, 2001). En este sentido, se dedican a la cafecultura aproximadamente 504 mil productores, en una superficie de 609 mil ha (Perea, 2014), la cual representa una fuente importante en la generación de empleos temporales y permanentes en tareas relacionadas con la agroindustria y comercialización; de esta manera, el aromático representa la principal fuente de ingresos para más de 700 mil familias, de las que dependen alrededor de

3 millones de personas. Lo anterior, deja de manifiesto que el aromático representa un producto agrícola estratégico en la generación de empleo, ingreso y desarrollo rural para los productores de escasos recursos de nuestro país.

La población productora de café, así como la mayor superficie se concentra, en 617 mil pequeñas unidades de producción; el tamaño promedio de los predios es de 1.5 ha (Perea, 2014); este hecho que aparentemente es factor de fragilidad por el grado de fragmentación de los predios representa una ventaja, sobre todo si consideramos el cuidado de tipo artesanal que se da a la producción, lo que permite adicionar un valor agregado al producto.

En este sentido, de acuerdo con estadísticas de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (2022), durante el ciclo 2020 se produjeron en nuestro país 951,388 t de café verde, esto es un 5.9% más que la producción alcanzada en el ciclo anterior; el cultivo, se centraliza en cuatro entidades federativas, las cuales concentraron el 90% de la producción nacional: Chiapas participó con el 39.7%, Veracruz (24.5%), Puebla (16.8%) y Oaxaca (9%). Cabe resaltar que durante el periodo 2010-2020 la producción nacional de café se contrajo, al registrar una tasa de crecimiento promedio anual negativa del 3.3%, atribuible, principalmente, a problemas de tipo fitosanitarios.

Por su parte, el Estado de México se ubicó como el doceavo productor durante el ciclo 2020, con 543 toneladas (el 0.1% del total nacional), dicho volumen de producción representó un 8.8% más que la producción registrada el año anterior y apenas el 40.2% del volumen máximo alcanzado en el 2010, cuando se produjeron más de 1,200 t; de esta manera, durante el periodo 2010-2020, la producción en la entidad registró una tasa de crecimiento promedio anual negativa del 8.3%, la cual fue mayor que la registrada a nivel nacional. Lo anterior, deja de manifiesto la importancia de la actividad en la entidad, ya que su producción registra una recuperación mayor respecto a la producción nacional, durante el periodo 2019-2020 (8.8% frente al 5.9%).

Durante el ciclo 2021, el Estado de México produjo 590 toneladas de café verde en 531 hectáreas; el 76.9% de dicha producción se concentró en el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) de Tejupilco, el cual por sus condiciones climáticas y orográficas posee las condiciones idóneas para la producción de café de calidad. Los municipios mexiquenses que sobresalen en la producción del aromático son: Amatepec, el cual participa con el 59.6% del total en la entidad, Sultepec (12.4%) y Temascaltepec (8.1%).

De esta forma, el municipio de Amatepec cuenta con más de 300 productores que cultivan un total de 350 ha del aromático, donde se emplean a más de mil trabajadores en las labores de corte de la cereza principalmente; asimismo, los productores del municipio han conformado algunas empresas, las cuales comercializan el café procesado en diferentes presentaciones como café en grano, tostado y molido; de esta manera, al menos un integrante de cada familia del municipio se dedica al cultivo del café (Estrada, 2017).

Es así como, la producción de dicho cultivo se ha constituido como una actividad importante en la agricultura de la región, así como una fuente importante en la generación de empleo e ingreso para la población de escasos recursos, así como un incentivo de crecimiento económico y comercial en la región sur del Estado de México.

Bajo este contexto, el cultivo del café representa una actividad tradicionalmente importante en la región sur del Estado de México; en este sentido, la presente investigación se centra, en realizar un diagnóstico sobre la situación que presenta la producción y comercialización del cultivo del café, a fin de detectar la principal problemática que presenta la actividad en sus diferentes etapas, para posteriormente poder emitir juicios de opinión y alternativas de solución.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en los municipios Amatepec, Temascaltepec, Tejupilco, Tlatlaya y San Simón de Guerrero, pertenecientes al Distrito de Desarrollo Rural (DDR) de Tejupilco, así como el municipio de Sultepec, durante el año de 2018; se realizó un muestreo por intención (Cochran, 1984), se visitó y encuestó a 41 unidades de producción, las cuales representan el 50.6% de los productores que conforman la Cooperativa Café Orgánico de Amatepec (CAFOA), así como a un acopiador, 10 detallistas y 30 consumidores. Se analizaron 21 variables, las cuales se clasificaron en aspectos técnicos, socioeconómicos y de comercialización.

Para calcular los márgenes de comercialización se cuenta con dos sistemas: el directo y el indirecto; el sistema más idóneo es el directo, el cual consiste en: a) seguir lotes estadísticamente representativos de los productos agrícolas, desde que salen de la finca hasta que llegan al consumidor final; b) registrar los costos y precios que se van originando en el trayecto del producto por los distintos agentes participantes; y c) delimitar la investigación a lotes representativos del movimiento de los productos, usando el muestreo estadístico para seleccionar los segmentos

a estudiar, con la intención de que los resultados puedan considerarse como una estimación de los márgenes verdaderos (García *et al.*, 1990).

El sistema de cálculo directo suministra información muy completa para el cálculo de los márgenes totales y sus componentes, sin embargo, el procedimiento es muy complicado y costoso (González *et al.*, 2019). En la presente investigación se utilizó el método directo, ya que es más efectivo respecto al levantamiento de la información y más confiable para el cálculo y análisis de la información obtenida.

Resultados y discusión

La producción de café en el DDR Tejupilco

La producción de café en el Distrito de Desarrollo Rural (DDR) de Tejupilco, se encuentra distribuida en cuatro municipios; Amatepec, Temascaltepec, Tlatlaya, Tejupilco y San Simón de Guerrero; en este sentido, durante el año 2021 se sembraron 437 ha del aromático, de las cuales se obtuvo una producción de 454 t de café cereza; destaca el municipio de Amatepec con una participación del 77.5% de la producción total del DDR, seguido de Temascaltepec con 10.4%, Tlatlaya con el 4.4%, Tejupilco con una participación de 4.0% y por último el municipio de San Simón de Guerrero con sólo el 3.7% de la producción total en el DDR (Tabla 1).

Tabla 1. Producción de café en el DDR Tejupilco, 2021

Municipio	Superficie sembrada (ha)	Producción (t)	Participación (%)
Amatepec	338	352	77.5
Temascaltepec	41	47	10.4
Tlatlaya	26	20	4.4
Tejupilco	16	18	4.0
San Simón de Guerrero	16	17	3.7
Total	437	454	100.00

Fuente: Elaboración propia con datos de la SEDER, 2021.

Principales variedades de café producidas en el sur del Estado de México

La principal especie de café que se cultiva en la región sur del Estado de México es la arábica, de la cual, la variedad caturra representa el 49.0%, mientras que la typica tiene una participación del 37.6% y el 13.4%, restante, pertenece a otras variedades cultivadas por los cafetaleros de la región. Lo anterior coincide con lo reportado por el FIRA (2017), quien señala que en nuestro país aproximadamente el 94.5% de la producción de café se obtiene de la especie arábica y el 5.5% restante corresponde a la variedad robusta.

Sistemas de Producción

De acuerdo con Moguel y Toledo (1996), los sistemas de producción de la caficultura nacional son: el sistema tradicional o de montaña, el policultivo tradicional, el policultivo comercial, el monocultivo bajo sombra y el monocultivo sin sombra.

En este sentido, dadas las características de cada unidad de producción, se encontró que el sistema de producción predominante en la región sur del Estado de México es el sistema tradicional o de montaña en un 46.3%, le sigue el sistema de monocultivo bajo sombra con un 40.4%, el sistema de monocultivo sin sombra con una participación del 8.4% y el sistema de policultivo tradicional con el 4.9% (Tabla 2).

Los agentes que desarrollan dicha actividad son pequeños productores con superficies que no rebasan las 3 ha de superficie, los cuales se encuentran dispersos en la región; cabe destacar que dicha actividad la desarrollan como un completo de otras actividades que desarrollan, tales como la agricultura, la ganadería y los servicios.

Lo anterior es acorde con lo señalado por Tomas *et al.* (2018), quienes indican que el cultivo del café se distingue como una actividad estratégica en el país y al integrarse en cadenas productivas genera divisas y empleos, que permiten la subsistencia de una gran cantidad de pequeños productores; asimismo, encontraron que el sistema de cultivo que prevalece en una comunidad de la montaña de Guerrero pertenece al sistema rústico de montaña, donde el café se siembra bajo la vegetación original, junto con otras especies de utilidad como árboles frutales o de madera.

Tabla 2. Sistemas de producción en la región sur del estado de México

Sistema de producción	Participación (%)
Tradicional o de montaña	46.3
Monocultivo bajo sombra	40.4
Monocultivo sin sombra	8.4
Policultivo tradicional	4.9
Total	100%

Fuente: Elaboración propia con información de campo.

Agentes y canales de comercialización

Los canales de comercialización son todos los movimientos que realiza el café desde el momento que sale de la finca del productor hasta llegar al consumidor final.

En este sentido, en el sur de Estado de México el canal tradicional de comercialización está compuesto por los siguientes agentes participantes en dicho proceso: los productores, un acopiador, el cual está representado por la Cooperativa Café Orgánico Amatepec (CAFOA), los detallistas y los consumidores finales.

Canal de comercialización tradicional

En la región sur del Estado de México existen diversas formas para llevar a cabo la comercialización del café; el canal de comercialización tradicional o más común es: del productor al acopiador, representado por la Cooperativa Café Orgánico Amatepec (CAFOA), empleado en un 60%; cabe mencionar que la cooperativa presta los servicios de secado, tostado, molido y envasado del producto a los socios, acción que le agrega valor al aromático.

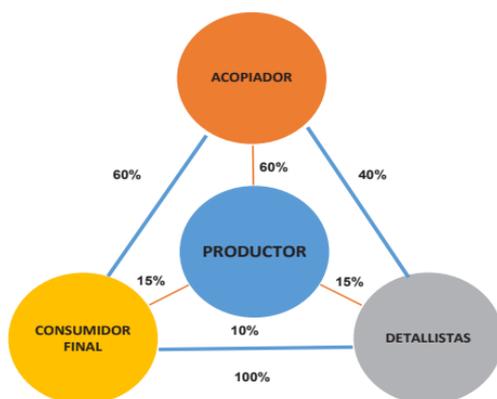
Otras variantes de dicho canal son: del productor al detallista y al consumidor final con un 15% de participación y del productor al consumidor final, representado por otro 15%; por su parte, el 10% del café es destinado al autoconsumo por parte de los productores (Diagrama 1).

Precios de venta

A continuación, se presenta la participación de los diferentes agentes en el precio de venta final del café en la región sur del Estado de México.

Los precios de venta registrados durante el año 2018 por los diferentes actores participantes en el proceso de la comercialización del café tostado y molido fueron: los productores obtuvieron un precio promedio de venta de 122.91 \$/kg, el acopiador vendió el kilogramo de café a un precio promedio de \$148.26, mientras que los detallistas registraron un precio promedio de venta al consumidor final de 162.92 \$/kg.

Diagrama 1. Principales agentes participantes en la cadena de comercialización del café en la región sur del Estado de México



Fuente: Elaboración propia con base a información de campo.

En la participación del precio de venta de los agentes participantes, los detallistas solo participaron con el 8.92% del precio de venta, el acopiador con el 15.62% y los productores obtuvieron un mayor margen de participación en el precio de venta del café con el 75.46%.

Los mejores precios de venta alcanzados por los productores se alcanzaron en los meses de septiembre (130 \$/kg), noviembre (126.61 \$/kg) y julio (126.55 \$/kg), los cuales coinciden con una baja oferta del producto (Tabla 3).

Tabla 3. Participación de los diferentes agentes en el precio de venta

Mes	Productor (\$/kg)	(%)	Acopiador (\$/kg)	(%)	Detallista (\$/kg)	(%)
Enero	122.11	74.92	149.26	16.65	163.00	8.43
Febrero	115.96	76.15	149.26	21.87	152.28	1.98
Marzo	117.89	75.10	149.26	19.98	156.98	4.92
Abril	120.35	73.38	149.26	17.62	164.03	9.00
Mayo	122.29	74.22	148.79	16.09	164.76	9.69
Junio	125.10	74.86	148.79	14.17	167.12	10.97
Julio	126.55	75.71	147.41	12.48	167.14	11.81
Agosto	125.44	75.05	147.41	13.14	167.14	11.81
Septiembre	130.92	78.33	47.41	9.87	167.14	11.81
Octubre	118.58	71.74	147.41	17.44	165.29	10.82
Noviembre	126.61	80.30	147.41	13.19	157.67	6.51
Diciembre	123.14	75.76	147.41	14.93	162.54	9.31
Promedio	122.91	75.46	148.26	15.62	162.92	8.92

Fuente: Elaboración propia con base en información de campo.

Márgenes de comercialización

Un margen de comercialización se define como la experiencia que existe entre el precio que paga el consumidor por el producto y el precio recibido por el productor.

Margen bruto de comercialización

El margen bruto de comercialización (MBC), indica que por cada peso que paga el consumidor por adquirir un kilogramo de café, los intermediarios, es decir, la Cooperativa de productores (CAFOA) y los detallistas, se apropiaron el 24.54% de dicho precio, lo cual es equivalente a 40.01 \$/kg vendido, es decir su utilidad fue de 24.54%, mientras que los productores se adjudicaron el 75.46% del precio total pagado por el consumidor final, lo cual equivale a 122.93 \$/kg.

El MBC más alto se alcanzó en el mes de octubre con 28.26%, lo cual obedeció a una disminución en la oferta del producto y repercutió en un incremento en el precio de venta del detallista; le siguieron los MBC

registrados en los meses de abril y mayo con 26.62% y 25.78%, respectivamente, registros que se explican, de manera similar, a lo acontecido en el mes de octubre (Tabla 4).

Tabla 4. Margen bruto de comercialización

Mes	Productor Precio de venta (\$/kg)	Detallista Precio de venta (\$/kg)	Margen bruto (MBC) (%)
Enero	122.11	163.00	25.08
Febrero	115.96	152.28	23.85
Marzo	117.89	156.98	24.90
Abril	120.35	164.03	26.62
Mayo	122.29	164.76	25.78
Junio	125.10	167.12	25.14
Julio	126.55	167.14	24.29
Agosto	125.44	167.14	24.95
Septiembre	130.92	167.14	21.67
Octubre	118.58	165.29	28.26
Noviembre	126.61	157.67	19.70
Diciembre	123.14	162.54	24.24
Promedio	122.91	162.92	24.54

MBC: Margen bruto de comercialización.

$MBC = (\text{Precio al consumidor} - \text{Precio al productor}) / (\text{Precio al último consumidor}) \times 100$.

Fuente: Elaboración propia con base en información de campo.

Problemática

Entre la principal problemática identificada en la producción y comercialización del café en la región sur del Estado de México, se encontró:

Una organización empresarial incipiente

A pesar de que se tiene un avance en el proceso de organización para la producción, ya que la mayor parte de los cafeticultores de la región están agremiados en la Cooperativa Café Orgánico de Amatepec (CA-

FOA), ésta aún no ha detonado como un verdadero agente disruptivo en los procesos de producción y comercialización del aromático, debido a la falta de gestión, capacitación, apoyo gubernamental y empresarial que detone la actividad desde una óptica empresarial; en este sentido, no se han aprovechado las cualidades orgánicas del producto, otorgadas por el ecosistema y el sistema de producción, la ausencia de capital para la inversión y uso de agroquímicos, que antaño se consideraban como una desventaja.

Una cadena de comercialización primaria y poco dinámica

El canal de comercialización tradicional que sigue el café producido en la región Sur del Estado de México es: del productor a la Cooperativa de productores, de ahí a los minoristas y finalmente el consumidor final; bajo este esquema, la Cooperativa actúa como principal acopiador del producto en el mercado, prestando a su vez servicios adicionales como el tostado, molienda y empacado del producto. La participación de la Cooperativa es importante, sin embargo, aún se requiere de una mayor intervención en acciones que contribuyan en el mejoramiento de la comercialización del aromático, tales como: gestionar la certificación orgánica del producto, impulsar un fuerte programa de difusión y promoción del mismo; en este sentido, se demanda examinar una mayor integración horizontal con los diferentes agentes participantes en dicho proceso, mediante la distribución y comercialización por las grandes cadenas comerciales, para lo cual se debe garantizar un mayor volumen de producción, así como condiciones óptimas de acopio que generen un proceso de producción adecuado, que sea acorde con las necesidades del mercado.

Conclusiones

La producción de café en la región Sur del Estado de México, es una actividad tradicional desarrollada bajo un sistema de producción de montaña bajo sombra, la cual es desempeñada por productores de bajos ingresos dispersos en toda la región, principalmente en los municipios de Amatepec, Tlatlaya, Temascaltepec Tejupilco y Sultepec, los cuales poseen superficies menores a 3 ha, se emplean variedades híbridas de la especie arábica, las cuales, en general, no reciben la aplicación de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas y pesticidas); la mano de obra empleada es de tipo familiar y sólo se recurre a la contratación durante la temporada de cosecha; dicha actividad se desarrolla como comple-

mento de otras actividades productivas por parte de los productores (agropecuarias y de servicios).

En la comercialización de la producción intervienen varios agentes, tales como los productores, la Cooperativa Café Orgánico Amatepec (CAFOA), la cual actúa como el principal acopiador del aromático, captando el 60% de la producción, los minoristas y los consumidores finales; en este sentido, sólo el 10% del producto es destinado al autoconsumo. Un papel fundamental en dicho proceso de comercialización es la participación de la Cooperativa de productores, la cual además de actuar como principal acopiador, presta el servicio de tostado, molido y empacado del aromático, añadiéndole valor al mismo.

Fuentes consultadas

- Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA). (2002). *Café de México: hacia los mercados de calidad*. Revista Claridades Agropecuarias. México, D. F. (103), 1-56.
- Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP). (2001). *El mercado del café en México*. Cámara de Diputados. H. Congreso de la Unión. Palacio Legislativo de San Lázaro México, D. F. 33 p. <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0542001.pdf>.
- Cochran, W. G. (1984). *Técnicas de muestreo*. CECSA. México, D. F. 513 p.
- Cruz León, A., Cervantes Herrera, J., Ramírez García, A. G., Sánchez García, P., Damían Huato, M. A. y Ramírez Valverde, B. (2015). La etnoagronomía en la construcción de propuestas de desarrollo rural para comunidades campesinas. *Revista Ra Ximhai*, 5(11), 184-194. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46142593010.pdf>.
- Estrada, M. (23 de abril de 2017). *Café de Amatepec, una tradición en Edomex*. Agencia Quadratin Edo. de México. <https://edomex.quadratin.com.mx/cafе-amatepec-una-tradicion-edomex/>.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). (2017). *Panorama Agroalimentario. Café*. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. 24 p. <http://www.fira.gob.mx>.
- García Mata, R., García Delgado, G. y Montero Higuera, R. (1990). *Notas sobre mercados y comercialización de productos agrícolas*. Centro de economía. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 473 p.
- González Jácome, A. (2004). *Dealing with risk: small-scale coffee production systems in Mexico*. *Revista Perspectivas Latinoamericanas*. (1). 1-39. <https://core.ac.uk/download/pdf/236154861.pdf>.

- González Razo, F. J., Sangerman Jarquín, D. M., Rebollar Rebollar, S., Omaña Silvestre, J. M., Hernández Martínez, J. y Morales Hernández, J. L. (2019). El proceso de comercialización del café en el sur del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(6), 1195-1206.
- International Coffee Organization (ICO). (15 de febrero de 2022). Estadísticas de producción y exportación de café. <http://www.ico.org>.
- Moguel, P. y Toledo, V. M. 1996. El café en México, ecología, cultura indígena y sustentabilidad. *Revista Ciencias*. (43), 40-51. <https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/43/CNS04306.pdf>.
- Perea, E. (6 de julio de 2014). Envejecidos 75% de los cafetales de México: Amecafe. *Imagen Agropecuaria*. <https://www.ImagenAgropecuaria.com>.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (4 de febrero de 2022). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). <http://www.siap.gob.mx>.
- Tomas, T. A., Delgado, A. A., Herrera, C. B. E. y Vargas, L. S. Sistema de producción de café (*Coffea arabica* L.) en la comunidad del cerro Cuate, Iliatenco, Guerrero. *Revista Agroproductividad*. 11(10), 157-163.

**Parte III. Éxito cafetalero en el sur
del Estado de México**

De la producción marginal a la Taza de Excelencia. El café del Estado de México

Lucila Martínez Munguía¹ Salvador Díaz Cárdenas¹
J. Domingo Robledo Martínez¹

Antecedentes

Este capítulo se basa en los resultados obtenidos por los cafeticultores del Estado de México, en su participación en el certamen de la taza de excelencia de café en México.

La calidad del café es un proceso de largo plazo, que se ha buscado por los productores, desde la existencia del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE). El Instituto se creó en 1958, como un órgano federal que agrupó los programas y apoyos de política pública del café en México. Dentro de sus funciones estaba el acopio de café y se establecía como único comercializador del café nacional, llevando a cabo mezclas de café y se estableció el “café prima lavado mexicano”, como calidad intermedia principal, en la exportación de café oro; lo que llevo a la pérdida de calidad de las distintas regiones productoras. Durante su funcionamiento, el Instituto fomentó la investigación agronómica del cafeto, llegando a desarrollar una nueva variedad denominada café Garnica (Villaseñor, 1987). En el beneficio húmedo y seco, la infraestructura que poseía el INMECAFE consistía en grandes instalaciones.

El Instituto se debilitó a partir de julio de 1989, con la ruptura de las cláusulas económicas del Convenio Internacional del Café (CIC), mediante las cuales se regulaba la oferta y el precio internacional del aromático; asignando volúmenes o cuotas que cada país productor podía exportar, en este mercado regulado. Inicia desde esa fecha, lo que se ha denominado como el “libre mercado del café”, que devino en la caída y fluctuaciones de precios en el mercado internacional, que ha permanecido como uno de los principales problemas, en la cafeticultura de los países productores y México no ha sido la excepción. El INMECAFÉ desapareció en marzo de 1993 y se creó en su lugar el Consejo Mexicano del Café (CMC), ya sin las funciones de acopio, comercialización y financiamiento, en la cafeticultura de México (Santoyo, Díaz y Padrón,

¹ Profesor-Investigador. Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Huatusco-Jalapa. Correo electrónico: lucy.cruo@gmail.com, disalvar1@hotmail.com, cenacafe2015@gmail.com

1996). La cadena productiva se reestructura en todos sus niveles y el sector mayoritario de pequeños productores, reciben menos ingresos por la venta de su producto, en el mercado nacional y de exportación.

En el terreno productivo, se descuidan y abandonan parte de las plantaciones de café, al mismo tiempo que la calidad del café mexicano disminuye y se aplican castigos o diferenciales de precios, que profundizan las caídas o crisis de precios en el mercado internacional (Pérez, 2013). En este escenario, el CMC operó hasta el 2006 y en su lugar se creó la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café, A.C. (AMECAFÉ), vigente hasta la fecha (CEDRESSA, 2018). Con la descapitalización generalizada de los actores nacionales en la cadena del café, pocas empresas transnacionales dominan el mercado; mientras una parte de los pequeños productores emigran hacia Estados Unidos y Canadá o en el interior, a los principales centros urbanos del país.

De manera paralela y como alternativa a la caída recurrente de precios, en el libre mercado del café, pequeños cafeticultores, sobre todo indígenas, han mantenido y buscado la certificación de café orgánico y la certificación de comercio justo; como una forma de mantener, cierta estabilidad y mejora de los precios, por la venta de su café. La búsqueda de mejoras en la calidad del café en la cadena productiva, debe ser un objetivo permanente (Díaz, 2016) y como base para la negociación de mejores precios del aromático. Un estudio amplio

A partir del 2001, una parte de los productores han tratado de mejorar la calidad intrínseca de su café, como estrategia de venta a mejor precio, aplicando el esquema de determinación de puntos de calidad, de la Asociación de Cafés Especiales (SCA). La Asociación de Cafés Especiales (SCA) es una organización formada por la SCAA (*Specialty Coffee Association of América* – Asociación de Cafés Especiales de América), cuyos orígenes se remontan a 1982 y fue establecida, por un pequeño grupo de profesionales del café que buscaban un foro común para discutir problemas y establecer estándares de calidad para el comercio de cafés especiales y la SCAE 1998 (*Specialty Coffee Association of Europe* – Asociación de Cafés Especiales de Europa); esta fusión se realizó en enero de 2017.

Un estudio amplio sobre los perfiles de calidad del café en México (Morales *et al.* 2021), desglosa las calidades regionales del aromático, en la perspectiva de los cafés diferenciados y de especialidad; quedando evidente la falta de valoración de la calidad del café en los mercados. Esta es una de las contribuciones donde busca aportar el Certamen de Taza de Excelencia.

La Asociación de Cafés Especiales (SCA) es una asociación comercial construida sobre cimientos de apertura, inclusión y el poder del conocimiento compartido. El propósito de SCA es fomentar las comunidades cafetaleras globales para apoyar actividades que hagan del café una actividad más sostenible, equitativa y próspera para toda la cadena de valor (SCA, 2021). Desde cafeticultores hasta baristas y tostadores, la SCA actúa como una fuerza unificadora dentro de la industria del café de especialidad y trabaja para mejorar el café elevando los estándares en todo el mundo a través de un enfoque colaborativo y progresivo. Dedicada a construir una industria que sea justa, sostenible y enriquecedora para todos, la SCA se basa en años de conocimientos e inspiración de la comunidad de cafés especiales.

En el año 2012 inicia un certamen reconocido a nivel internacional llamado “Taza de Excelencia México”, teniendo como socio internacional a Alianza para la Excelencia del Café (*Alliance for Coffee Excellence*. ACE, 2022) y como socio local a la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café, A.C.(AMECAFÉ). En este certamen se busca aprovechar la tendencia de satisfacer nichos de mercado internacional que buscan café de México de la más alta calidad y premiar a los cafeticultores mexicanos.

El programa de Taza de Excelencia (*Cup of Excellence*) nace en 1999 como el resultado de un proyecto global diseñado para ayudar a los productores, a recibir un mayor ingreso por su café de alta calidad. En dos décadas, Taza de Excelencia se ha convertido en el concurso y premio más prestigioso de cafés de alta calidad; donde el nivel de escrutinio al que se someten los cafés, es incomparable en la industria del café de especialidad (ACE, 2022).

En efecto, uno de los aspectos más cuidados en *Taza de Excelencia*, ha sido la integridad y transparencia en la industria del café, asegurando el valor de los cafés ganadores. Cada muestra que ingresa al proceso de competencia se le asigna un número que solo el auditor conoce para cada competencia, y cada miembro del jurado cata el café a ciegas. Además, cada lote se documenta durante todo el proceso para que los cafés ganadores tengan trazabilidad hasta la finca y el micro lote exacto.

El certamen no es sólo un concurso para identificar los mejores cafés de México, sino que estos cafés son ofertados y vendidos a través de ACE a los principales importadores y tostadores internacionales de café de especialidad mediante subastas electrónicas. En México este certamen se ha realizado durante 8 años, solo los años 2016 y 2020 no se realizó.

La calidad del café es un aspecto importante tanto para los productores como para los consumidores. Las características básicas para determinar si es un café de alta calidad son: aroma, cuerpo, acidez, sabor y resabio.

Los productores del Estado de México han demostrado interés por involucrarse en producir y vender café de calidad; esto porque al tener un café de calidad pueden incrementar sus ventas y darse a conocer, tanto a nivel nacional como internacional, posicionando su producto en un mejor mercado.

El presente ensayo se realizó con el objetivo de sistematizar las experiencias y resultados que han logrado los productores del Estado de México, en el certamen de Taza de Excelencia México. Como se destaca más adelante, los lugares alcanzados son relevantes, en tanto se han obtenido desde una producción muy pequeña, que tienen las regiones de esta entidad, en el escenario nacional.

A continuación, se explica la metodología aplicada por la SCA, luego se trata sobre la producción de café en el Estado de México, en seguida se realiza el recuento de la participación de los cafeticultores en dicho certamen y se concluye sobre los relevantes resultados que han obtenido.

Metodología

En cuanto a la sistematización de las experiencias obtenidas de la participación de cafeticultores del Estado de México, en el Certamen de Taza de Excelencia, la metodología se centra en el protocolo de puntuación de la SCA y el procedimiento de este certamen (anexos 1, 2 y 3); los cuales se explican a continuación, en sus elementos principales.

Protocolo SCA

El protocolo de puntuación de la Asociación de Cafés Especiales (SCA) proviene del creado al mismo tiempo que se estableció, la Asociación de Cafés Especiales de América (*SCAA-Specialty Coffee Association of América*), en el año 1982. El objetivo principal del protocolo es separar el café especial del café comercial o convencional.

La valoración máxima posible por este protocolo es de 100 puntos y se considera a partir de los 80 puntos la frontera en la que catalogamos un café como especial. Como primer paso se realiza la preparación de las cataciones o pruebas de taza, donde se lleva a cabo el tostado, pesaje, molido y preparación de las tazas a catar. Posteriormente se realiza la

evaluación de los cafés con el siguiente procedimiento (Millet, 2022): se analiza la intensidad del tueste, la fragancia se valora en el café molido como aroma seco, se vierte el agua en las tazas de manera uniforme, se analiza el aroma de la costra sin tocarla, luego se rompe la costra de manera superficial uniforme, analizado el aroma se limpia la superficie, se prueban o catan las tazas a los 10 a 12 minutos de realizada la infusión, con una temperatura de 60 a 80 °C, se prueba cuatro veces la infusión, siendo la primera de calibración sobre la uniformidad y limpieza, en la segunda se registran los descriptores con la bebida a temperatura de alrededor de 50 °C y se valoran sus cualidades, incluidas la intensidad, la dulzura y posibles defectos; en la tercera prueba, con la bebida a temperatura cercana a 40 °C y en la cuarta pasada, ya la bebida cercana a 30 °C, se concluye la valoración de la bebida, se anotan las puntuaciones de los atributos y los descriptores que la caracterizan.

Posteriormente se realiza la valoración en la hoja de protocolo SCA. Estas son las puntuaciones positivas de calidad que tiene cada uno de los atributos y los puntos que suman dentro del protocolo SCA (Millet, 2022) en tres grupos:

1. Cualidades con puntuación en escala de 0.25 con un máximo de 10 puntos: aroma, sabor, postgusto (resabio), acidez, cuerpo, balance y valoración general.
2. Características con puntuación en escala de 2 a 10 puntos como máximo: limpieza, dulzura y uniformidad.
3. Evaluación de defectos, con puntuaciones negativas. Un defecto es un problema en la taza que puede ser causado por fenol, fermento, hongo, manchas químicas u otros tipos de manchas que podemos nombrar claramente y que disminuyen tanto la calidad como la limpieza de la taza.
4. La clasificación de los defectos se realiza en dos categorías: a) como mancha defectuosa, con dos puntos, donde se anota el defecto y se valoran los atributos del café y, b) defecto fuerte, que afecta gravemente la calidad y limpieza de la taza, sin permitir la valoración de las características de la bebida. La intensidad del defecto encontrado se multiplica por las tazas que lo contienen y el resultado se resta a la puntuación final (anexos 1, 2 y 3).

Una vez que se acaba de catar, se dedican los últimos 5-10 minutos para llenar bien las hojas del protocolo SCA y calcular las puntuacio-

nes definitivas que van a tener los cafés del grupo de muestras o mesa analizada.

Certamen Taza de Excelencia

El Certamen Taza de Excelencia México identifica y selecciona los cafés de calidad excepcional obtenidos durante la cosecha para ofertarlos en el mercado nacional e internacional, además de reconocer y premiar a los productores(as) mexicanos(as) por alcanzar la máxima calidad de su café¹.

Los involucrados en este proceso son Alianza para la Excelencia del Café (ACE- Alliance for Coffee Excellence), la Taza de Excelencia (COE-*Cup of Excellence*) y la AMECAFE, donde se difunde la convocatoria a todos los productores que deseen participar en este certamen.

Algunos de los requisitos para participar en el certamen son los siguientes: Participan todos los (as) productores(as) que tengan una finca o predio cafetalero, Un (a) productor(a) solamente puede participar con una muestra. Los (as) productores(as) deberán realizar su registro en la página correspondiente que se indica en la convocatoria, si la producción de la finca o predio no es suficiente para completar la cantidad mínima del lote, el productor puede unir su lote hasta con dos productores de la misma región si garantizan la trazabilidad del lote y su muestra sea representativa. Los productores pueden participar por su cuenta o a través de organizaciones, comercializadores o exportadores.

Sobre la muestra o el lote participante, el café debe ser de la nueva cosecha, pueden participar muestras de café arábica en todas sus variedades y por cualquier proceso, en este registro se le solicitan las variedades y porcentajes en el registro, se debe contar con información detallada de su proceso de beneficiado y queda prohibido realizar alguna alteración por aditivos en el proceso del café o agregar alguna sustancia ajena al café. Para la preparación de la muestra en oro para la primera fase de preselección del certamen, es responsabilidad del dueño del café, y deberá cumplir con las siguientes características.

Ser representativa del lote disponible, con un peso de 2 kg, ser enviada en una bolsa de plástico transparente, resistente, sin olores extraños, sellada, con la ficha de inscripción llena, impresa y firmada y copia de la identificación oficial del productor (a), prepararla a cero defectos de

¹ En este subcapítulo se incluye información general del certamen de Taza de Excelencia, pero sobre todo de la convocatoria reciente (ACE y AMECAFE, 2022).

categoría 1 y no más de 5 defectos de categoría 2, eliminar el café de cribas 15 abajo y cribas 20 arriba (con excepción de los cafés márags y pacamaras), humedad no menor al 9.5% y no mayor al 12% y se tomará lectura de la actividad de agua en la AMECAFÉ y deberá ser menor a 0.65.

La muestra se debe enviar a la AMECAFE respetando las fechas establecidas en la convocatoria. Todas las muestras sometidas a la competencia pasarán a la orden irrevocable de AMECAFÉ A.C. y no se regresan al productor.

En caso de que la muestra sea seleccionada en la primera fase de catación, llamada de preselección, el lote deberá ser entregado en las bodegas autorizadas en las fechas establecidas en la convocatoria en un horario que AMECAFÉ le asignará. El lote de café correspondiente deberá ser entregado en pergamino o bola. El lote de la muestra seleccionada deberá ser un lote en pergamino, bola o capulín que al convertirse en Café Verde Exportable u Oro (ECV) sea una cantidad mínima de 210 kilos y no mayor de 1 200 kilos. La estimación por proceso de café pergamino o bola o capulín para su entrega, si es seleccionado, es de 8 a 62 sacos de 60 kg de café pergamino, siendo diferente cantidad por tipo de café: lavados, honey y naturales (Cuadro 1). Los responsables y personal de Auditoría toman una muestra representativa del lote consignado de café para las siguientes fases de pruebas de catación (nacional e internacional). El tamaño de la muestra deberá estar en los siguientes rangos de peso:

- Entre 6 y 7 kg para café pergamino en proceso lavado y semilavado (honey).
- Entre 9 y 10 kg café bola o capulín para proceso natural.

Cuadro 1. Rango de sacos para entrega de lotes en bodegas autorizadas

Tipo	Mínimo en sacos	Máximo en sacos
Lavados	8 sacos de 50 kg cada uno de pergamino.	38 sacos de 50 kg cada uno de pergamino.
Honey	9 sacos de 50 kg cada uno de pergamino.	40 sacos de 50 kg cada uno de pergamino.
Naturales	12 sacos de 50 kg cada uno de pergamino	62 sacos de 50 kg cada uno de pergamino

Fuente: ACE y AMECAFÉ, 2022.

El lote de café de la muestra inscrita no deberá estar comprometido para la venta, ni podrá ser sujeto de garantía, dación en pago, litigio de cualquier índole o cualquier otro estatus que pudiese limitar su disponibilidad.

Los productores participantes recibirán un reporte técnico de la muestra de las evaluaciones físicas y sensoriales que se realicen una vez que finalice el certamen, sin costo, conteniendo la última información del café en el concurso.

En caso de que el café sea uno de los ganadores internacionales de Taza de Excelencia y sea parte de la subasta electrónica o uno de los ganadores nacionales y autorice previamente estar en la subasta electrónica de ganadores nacionales, se trillará y procesará de acuerdo con los estándares de la SCA y así los establece ACE, para café de grado especial, los cuales son, a saber:

- a. No se permite defectos de categoría 1 y no más de 5 defectos de categoría 2.
- b. Un máximo de 20% arriba y debajo de los tamaños de cribas 16 a 18 son permitidos.
- c. Sin granos vanos al tueste.
- d. Deben tener una humedad de 9.5% a 12% al momento de entregar el café.
- e. Debe tener una actividad hídrica no mayor a los 0.65 puntos.

Fases y participantes en el certamen de Taza de Excelencia

Preselección

Las muestras participantes son codificadas por personal de Auditoría y tostadas por tostadores expertos. El Jurado Nacional catará a ciegas los cafés y al final de la fase, los cafés que cuenten con un puntaje de 86 o más pasarán a la fase de jurado nacional. En esta fase pueden pasar hasta 150 cafés.

Auditoría

En este proceso de auditoría participan personal del Centro Regional Universitario Oriente (CRUO) de la Universidad Autónoma de Chapin-go. El Auditor está presente en todas las fases del certamen para verificar el cumplimiento de transparencia y veracidad del concurso.

Jurado nacional

Durante esta fase, los lotes de los cafés seleccionados deben de ser entregados en las bodegas autorizadas. El Auditor se encargará de tomar la muestra representativa y cada café se le asignará un código para que los lotes sean tostados y posteriormente catados a ciegas por el jurado nacional

Jurado internacional

Los cafés calificados con un puntaje de 86 o más pasarán a la siguiente fase de jurado internacional. En esta fase pueden pasar un máximo de 40 cafés.

Durante esta fase, el Auditor se encargará de asignar un código para que los lotes sean tostados y posteriormente catados a ciegas por el jurado internacional. Los 40 cafés o los que pasaron a esta etapa, se catan y aquéllos con una puntuación de 86 o más pasarán a la segunda ronda del jurado internacional. Se obtendrán los 30 mejores cafés con puntajes de 87 o superiores. Auditoría asigna los códigos a los 10 mejores cafés para catarse a ciegas nuevamente y obtener los cafés con puntajes de mayor a menor rango.

Los cafés con un puntaje de 87 o más puntos son considerados los ganadores internacionales de Taza de Excelencia. En esta categoría solo pueden colocarse un máximo de 30 cafés. Los cafés calificados entre 85 a menos de 87 puntos son ganadores nacionales.

Subasta de Taza de Excelencia

La bodega autorizada toma un estimado de 18 kilogramos de café verde exportable de cada café ganador internacional de Taza de Excelencia para que la AMECAFE envíe aproximadamente 90 paquetes de muestras a los compradores, miembros de ACE, que participarán en la subasta. Cada comprador recibe la muestra, la tuesta y cata en sus instalaciones para seleccionar el café o los cafés por los cuales pujará en la subasta.

La plataforma de subasta en línea está abierta por un solo día (fecha indicada en convocatoria). La subasta comienza cuando todos los lotes de café tienen al menos una oferta por parte de algún comprador y termina cuando se superan tres minutos sin obtener ninguna nueva oferta por parte de algún comprador.

(a) Tamaño de lotes en la subasta de Taza de Excelencia

Los tres cafés con más alto puntaje mayor a 90 puntos son divididos en dos, de manera que el día de la subasta se subasten dos lotes del mismo café y puedan ser comprados por distintos compradores.

(b) Subasta ganadores nacionales

La bodega autorizada toma un estimado de 18 kilos de café verde exportable de cada café ganador nacional (previamente autorizado por el propietario) para que AMECAFÉ envíe aproximadamente 90 paquetes de muestras a los compradores, miembros de ACE, que participarán en la subasta. Cada comprador recibe la muestra, la tuesta y cata en sus instalaciones para seleccionar el café o los cafés por los cuales pujará en la subasta. La plataforma de subasta en línea estará abierta durante cierto periodo (fecha establecida en cada convocatoria). Existe la posibilidad de que el lote no sea vendido y se haya incurrido en los costos de maquila, selección de café verde con estándares de Taza de Excelencia, envíos internacionales y empaçado de exportación. Por lo que es importante que el productor manifieste por escrito su acuerdo a participar en dicha subasta o la decisión de retirar su café una vez liquidado los costos a la bodega autorizada.

El Estado de México como productor de café

La historia del café en la región se remonta a hace más de cien años. Nadie sabe con certeza como llegó el café al Estado de México; los testimonios obtenidos, ubican su antecedente más antiguo hacia finales del siglo XIX o principios del XX, cuando quizá uno de los sacerdotes de Amatepec de apellido Sánchez y presuntamente originario del estado de Puebla, fue quien introdujo su producción en la región, principalmente para su autoconsumo. El Sacerdote dejó la región y sus propiedades fueron vendidas a campesinos locales por sus sucesores. Los trabajadores del sacerdote dieron a conocer el cultivo y procesamiento del aromático a los nuevos dueños de las propiedades.

Ahora se dispone de información sobre el sector cafetalero del Estado de México y ha cobrado mayor relevancia, a partir de que, de manera particular algunos grupos organizados y cafecultores individuales, han ido documentando sus experiencias en la cadena productiva del café. En efecto, hay un documento inicial sobre una práctica de campo realizada con alumnos de la Universidad Autónoma Chapingo en 2005; luego se

tuvo un espacio sin generación de documentos disponibles y en 2014, se reportó un diagnóstico de las principales plagas y enfermedades a socios de la organización Café

Orgánico de Amatepec (CAFOA) y el Plan Rector del sistema producto café en el Estado de México, elaborado por la Cooperativa Alma Natural S.C.

Las plantaciones de café del Estado de México se localizan en la región sur y sureste de la entidad, en las colindancias con los estados de Guerrero y Morelos y en el sistema montañoso que se ve influido por el volcán del Xinantencatl o Nevado de Toluca. De acuerdo a información por parte del SIAP-SADER (2021) existen ocho municipios que producen café cereza en el Estado de México, con una superficie total de 530.81 ha y Amatepec es el que ocupa el 63.7 % de la superficie cultivada con el aromático (Cuadro 2).

Cuadro 2. Superficie sembrada de café en el Estado de México

No	Municipio	Superficie Sembrada(ha)
1	Amatepec	338.2
2	Malinalco	20
3	Ocuilan	14
4	San Simón de Guerrero	15.75
5	Sultepec	60
6	Tejupilco	16.36
7	Temascaltepec	40.5
8	Tlatlaya	26
	Total	530.81

Fuente: SIAP-SADER, 2021.

Se debe resaltar que esta superficie total cultivada con café, apenas representa el 0.076% del área cultivada con cafetos en el país y por ello, se considera una aportación marginal, lo que contrasta por su participación destacada en el certamen de Taza de Excelencia.

Es importante señalar que los productores del Estado de México, han buscado asesorías y capacitaciones con instituciones relacionadas con los temas de la cafecultura. En el año 2015 se realizó en el Centro Re-

gional Universitario Oriente (CRUO-UACH), un curso taller de “cafeticultura integral sustentable y planeación participativa”, donde se capacitaron a cinco técnicos y productores de la entidad, donde se abordaron diferentes temas, entre otros: historia del café, los sistemas de cultivo del café, propagación de plantas de café, establecimiento de plantaciones, buenas prácticas de manejo del cultivo de café y buenas prácticas de cosecha de café. Formación que se ha aplicado en el mejoramiento de sus cafetales y el proceso de beneficiado, como base para la obtención de cafés de alta calidad.

Participación en Taza de Excelencia

Durante siete años, productores de café del Estado de México, han estado participando, en el certamen de Taza de Excelencia de México. El interés que manifiestan por este certamen, es dar a conocer que, en esta entidad, a pesar que tiene una superficie cultivada en café mínima, se tiene café de buena calidad. Así mismo, el participar en este certamen ha posicionado a productores en los primeros lugares en este certamen. Con ello, el café de estos productores no solo se ha dado conocer en nuestro país, sino a nivel internacional y su café ha sido exportado a diferentes países, vendiendo su producto a muy buen precio. En seguida se señala la participación, pero por privacidad de los datos, no se indican los nombres de los participantes.

Recuento de la participación Taza de Excelencia

Iniciado el certamen de Taza de Excelencia en México, en 2012 y pronto, en dos años más, seis productores enviaron muestras de café para participar en este certamen, quedando solo en la primera etapa de preselección. Los productores que participaron fueron de tres municipios y con seis muestras (Cuadro 3).

Cuadro 3. Participantes en certamen de Taza de Excelencia, 2014

Productor	Localidad/ municipio	Tipo de proceso	Altura de las fincas(msnm)	Variedades
1	El Veladero/ Amatepec	Lavado	1461	Criollo
2	El Veladero/ Amatepec	Natural	1461	No indica
3	Las Peñas/Sultepec	Lavado	1321	No indica
4	Amatepec	Lavado	1692	No indica
5	Amatepec	Lavado	1692	Caturra
6	Amatepec	Lavado	1692	No indica

Fuente: Taza Excelencia México, 2014.

En el año 2015 participaron tres productores de los municipios de Amatepec y Temascaltepec del Estado de México en el certamen, donde dos productores solo se quedaron en la etapa de preselección y un productor paso a la siguiente etapa nacional, donde el productor debía enviar su muestra a las bodegas autorizadas para participar en las siguientes etapas. Por diferentes motivos del productor no logro enviar su lote correspondiente a la bodega y automáticamente quedo fuera de este certamen. Cabe mencionar que en la etapa de preselección la muestra de un productor, obtuvo un buen resultado en la catación, con una calificación alta, demostrando que su café es de buena calidad (Cuadro 4).

Cuadro 4. Participantes en Certamen Taza de Excelencia 2015

Productor	Localidad/ municipio	Tipo de proceso	Altura de las fincas(msnm)	Variedades
1	Amatepec	Lavado	1840	Criollo
2	San Andrés de los Gama/ Temascaltepec	Lavado	2100	Typica, caturrea y mundo novo
3	Amatepec	Lavado	1910	Criollo/ Caturra

Fuente: Taza Excelencia México, 2015.

Para el año 2017, ningún productor del Estado de México participó y fue hasta el año 2018 donde un solo productor participó en este certa-

men y su café demostró tener buen puntaje en taza, pasando las etapas de preselección, nacional e internacional y llegó a ser uno de los mejores cafés obteniendo una posición en el segundo lugar del concurso nacional, con un puntaje de 90.47 puntos, recibiendo un reconocimiento como un café muy especial denominado “presidencial”, el cual se otorga a muestras a partir de 90 puntos.

Es importante resaltar que, en este certamen del año 2018, sorprendieron los resultados obtenidos, porque estados cafetaleros pequeños quedaron en los primeros lugares de Taza de Excelencia México (Tabla 4). En efecto, los estados con mayor puntaje fueron Jalisco en primer lugar y en segundo lugar el Estado de México, ambos cafés con una calificación de más de 90 puntos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Participantes en Certamen Taza de Excelencia 2018

Productor	Localidad/ municipio	Tipo de proceso	Altura de las fincas(msnm)	Variedades
1	San Andrés de los Gama/ Temascaltepec	Lavado	2150	Bourbon y caturra

Fuente: Taza Excelencia México, 2018.

En el certamen del año 2019, participaron ocho estados cafetaleros donde se registraron un total de 248 muestras de café. Estas entidades participantes fueron: Veracruz, Chiapas, Estado de México, Colima, Jalisco, Nayarit, Oaxaca y Puebla. Donde el Estado de México participó con dos muestras de café, con un productor del municipio Temascaltepec y otro de Almoloya de Alquisiras (Cuadro 5).

En la etapa de preselección solo 78 muestras quedaron seleccionadas para la segunda etapa nacional y donde se encontraban las dos muestras enviadas del Estado de México y los productores debían enviar su lote de café a la bodega autorizada. En este paso del envío de los lotes de café a las bodegas solo llegaron 68 muestras en total, de los cuales, sólo uno de los lotes del Estado de México, fue entregado en bodega, quedando fuera de este certamen el segundo lote de café.

En la fase nacional solo reunieron los 87 puntos mínimos necesarios, 40 muestras de café que pasaron a la etapa internacional. Etapa en la cual fueron seleccionadas, solo 28 muestras, entre las cuales se contaba el café del productor de Temascaltepec y logró llegar hasta los primeros lugares de este certamen, posicionándose en el 4º lugar con un puntaje

de más de 90 de calificación; siendo acreedor a una distinción como café muy especial, denominado café presidencial (Cuadro 6).

Cuadro 6. Participantes en Certamen Taza de Excelencia 2019

Productor	Localidad/ municipio	Tipo de proceso	Altura de las fincas(msnm)	Variedades
1	Temascaltepec/ Temascaltepec	Lavado	2100	Bourbon, caturra y typica
2	Agua fría/ Almoloya de Alquisiras ^a	Lavado	2000	Typica y Caturra

^a Cabe mencionar que el municipio de Almoloya de Alquisiras el SIAP-SADER, no registra superficie con plantaciones de café.

Fuente: Taza Excelencia México, 2019.

A pesar de los tropiezos iniciales y con los buenos resultados obtenidos en dos concursos; la motivación de los productores del Estado de México por participar en tan importante certamen se sigue dando y con ello nuevamente participaron dos productores en el certamen 8° de Taza de Excelencia 2021. En el año 2020 no se realizó el certamen por la pandemia causada por el COVID 19. En este 8° certamen ingresaron un total de 187 muestras de cafés en la fase de preselección, siendo dos de estas muestras del Estado de México, de los municipios de Temascaltepec y Almoloya de Alquisiras (Cuadro 6). En esta fase de preselección solo pasaron a la siguiente fase nacional un total de 89 muestras de café y se entregaron en bodega un total de 82 lotes de café y dentro de estos lotes, si llegaron los dos del Estado de México (Cuadro 7).

Cuadro 7. Participantes en Certamen Taza de Excelencia 2021.

Productor	Localidad/ municipio	Tipo de proceso	Altura de las fincas(msnm)	Variedades
1	San Andrés de los Gama/ Temascaltepec	Lavado	2100	Caturra
2	Almoloya de Alquisiras / Almoloya de Alquisiras	Lavado	2150	Caturra

Fuente: Taza Excelencia México, 2021.

En esta fase nacional solo pasaron 58 muestras de café, pasando a la etapa internacional, donde el jurado seleccionó solo 40 muestras con la más alta puntuación. Por la pandemia del COVID 19, en este año la evaluación del jurado internacional fue a distancia donde la AMECAFE con supervisión de auditoría envió las muestras a diferentes laboratorios denominados Centros de Café Globales (GCCs), que participaron en este proceso de evaluación de la ACE.

Se llevó a cabo la evaluación en los GCC y se realizó el mismo procedimiento de evaluación donde se obtuvieron un total de 30 muestras de cafés que pasan a la subasta internacional de la COE, y además de ello cuatro muestras de café obtenidas con puntuación de más de 90, siendo estos dos cafés del Estado de Chiapas y los dos cafés del Estado de México, que recibieron la distinción presidencial.

Los dos productores que han participado en este evento están muy contentos de representar a su estado y dar a conocer la calidad que tienen sus cafés, que siendo pequeños productores producen cafés de muy alta calidad y han logrado posicionar y dar a conocer su café en diferentes países, gracias a este certamen que se ha realizado por varios años.

De la participación en cinco años, se puede afirmar que este certamen ha sido de gran apoyo a los productores participantes del Estado de México y se ha dado a conocer su café a nivel internacional. A continuación, se hace una breve síntesis de cómo ha sido la participación de los productores del Estado de México en este certamen (Cuadro 8).

Cuadro 8. Número de participantes en Certamen de Taza de Excelencia

Año	Fase preselección	Fase nacional	Fase internacional	Top ten
2014	6	0	0	0
2015	3	0	0	0
2018	1	1	1	1
2019	2	1	1	1
2021	2	2	2	2

Fuente. Taza de Excelencia México, 2014-2021.

Como se puede observar, en los tres últimos concursos (2018-2021), los cafés del Estado de México se posicionaron dentro de los primeros lugares, estando en el “*Top Ten*” de este certamen y los micro-lotes de estos cafés se subastaron a nivel Internacional.

Conclusiones

La calidad de café en el Estado de México es una de las mejores cualidades que pueden tener debido a que cuentan con factores importantes como es la altura y variedades.

Es importante que los productores del Estado de México continúen produciendo cafés de muy alta calidad, y aumentando su producción para incrementar su superficie y volumen de producción de café.

La participación durante cinco veces en el Certamen de Taza de Excelencia México, les ha permitido dar a conocer el café del Estado de México y participar en subastas internacionales de estos cafés especiales, lo cual debe ser un aliciente para que más cafeticultores se motiven y se involucren en este proceso.

El resultado obtenido en 2021, donde las dos muestras de café del Estado de México, obtuvieron la distinción como cafés muy especiales (presidenciales); debe ser un factor que motive a los jóvenes, hijos de los cafeticultores o que se dediquen a otras actividades, para que se incorporen e incremente la cafecultura en la entidad, propiciando el relevo generacional.

Fuentes consultadas

ACE (Alianza para la Excelencia del Café), (2022). Sobre nosotros. Disponible en: <https://allianceforcoffeexcellence.org>

Alma Natural S.C. de R.L. de C.V. 2014. Plan Rector del Sistema Producto Café en el Estado de México. Coyoacan. D.F. pp.70.

CEDRSSA, 2018. *El café en México. Diagnóstico y perspectiva (reporte)*. Palacio Legislativo de San Lázaro, Marzo, 2018. pp.33. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/30El%20caf%C3%A9%20en%20M%C3%A9xico:%20diagn%C3%B3stico%20y%20perspectiva.pdf>

Díaz Cárdenas, Salvador (2016). Calidad en la cadena productiva del café en México. SAGARPA-UACH/CENACAFÉ. Huatusco, Ver. 65 p.

Escamilla P, E, Landeros S, C. Cafés diferenciados y de especialidad, primera edición. 2016. CENACAFE, Xalapa, Ver. 51 pp.

Millet, Celia (2022). Protocolo de Puntuación SCA. Disponible en: <https://mare-terracoffee.com/es/protocolo-de-puntuacion-sca/>

Morales Ramos, Victorino; Escamilla Prado, Esteban; Muñoz Rodríguez, Manrubio; Velázquez Morales, Juan Alberto y Spinoso Castillo, José Luis, (2021). *Perfiles de calidad del café de México*. Biblioteca Básica de Agri-

cultura (CONACYT, SAGARPA, COLPOS, UACH). Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 365 pp.

Pérez Akaki Pablo, (2013). *Los siglos XIX y XX en la cafeticultura nacional: de la bonanza a la crisis del grano de oro mexicano*. Revista de Historia N° 67. Enero - junio 2013. pp. 159-199.

Santoyo Cortés, V. Horacio; Díaz Cárdenas, Salvador y Rodríguez Padrón, Benigno. 1996. *El sistema agroindustrial café en México: diagnóstico, problemática y alternativas*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx. 157 p.

SCA (Asociación de Cafés Especiales) (2021). Acerca de SCA. Disponible en: <https://sca.coffee/about>

SIAP-SADER, (2021). *Producción de café en el Estado de México*. CDMX.

Villaseñor Luque, Andrés. 1987. *Cafeticultura moderna en México*. Ed. Agrocomunicación Sáenz Colín y Asociados. México.

Federico Barrueta: el Café de la Ilusión. Historia de vida en una Taza de Excelencia

Alberto Jorge Flores Marín¹

Introducción

En este capítulo trataremos la historia del productor de café Federico Barrueta Barrueta, originario del municipio de Temascaltepec, quien a temprana edad conoce y trabaja en el proceso del café en su comunidad, para después enlistarse en 2 carreras diferentes dentro de las fuerzas armadas de México.

Después de pasar un tiempo de vida trabajando en la zona de Sinaloa, regresa a su comunidad para dedicar todo su tiempo y esfuerzo al trabajo que se convirtió en su pasión y enfocarse en el café de alta especialidad.

A partir de ese momento y a base de grandes esfuerzos consigue participar en el certamen Taza de Excelencia, en dicho certamen obtiene diversos galardones en los primeros lugares y así logra incentivar a otros productores a trabajar en el mismo sentido. Su labor es reconocida por su sacrificio y compromiso en la producción del café, recibiendo capacitaciones constantes y a su vez capacitando a más productores para generar un café de calidad y especialidad.

Como un proyecto a mediano plazo para Federico, es lograr posicionar su café en todo el mundo y colocarlo entre los 30 primeros lugares, y a nivel nacional estar entre los primeros diez.

Su café galardonado actualmente se distribuye en países como, Estados Unidos, Dubái, Alemania y Japón, hoy en día se encuentra trabajando en diversas fincas como asesor, y en su laboratorio en la comunidad de San Andrés de los Gama, con la finalidad de lograr un café de mayor puntaje y calidad para Taza de Excelencia.

En este capítulo abordaremos un poco de la vida de Federico Barrueta Barrueta, productor de café mexiquense del municipio de Temascaltepec, Estado de México. Las entrevistas realizadas para realizar la historia de vida las hemos elaborado en las diferentes visitas a su finca “La Ilusión” donde nos ha hablado de su niñez, adolescencia, el momento de separarse de su familia para tener una educación militar y el regreso

¹ Subdirector de concertación. Secretaria del campo. Gobierno del Estado de México. Conjunto Codagem. Metepec. México.

a su terruño para volver con los suyos y encontrar en la producción del café de especialidad una forma de vida que le da la esperanza de una vida con metas por trazar y al mismo tiempo la emoción de un niño jugando a inventar.

El mismo Federico ha pedido que en su historia de vida no solo se tome en cuenta lo que emerge de propia voz, ha pedido que entrevistemos a diversas personas que han influido en su crecimiento como productor de café de especialidad, pero sobre todo, personas que cuando lo conocieron, no sabían que había producción de café en la entidad mexicana, y mucho menos del potencial que ha alcanzado, por ello, a la par de la historia contada por el productor, también incluimos las opiniones de aquellos que, a partir de la participación en el certamen taza de excelencia, han permeado el pensamiento y el corazón del sr. Barrueta.

Temascaltepec, cuyo significado cerro de los temascales o baños de vapor proviene del náhuatl, es un municipio situado al sur del Estado de México, impregnado de historia por la plata y los diferentes minerales encontrados en sus minas, conserva historias de la época de la conquista dignas de rescatar para las generaciones venideras.

El esplendor de la época colonial aún puede apreciarse, entre las elevaciones naturales de la sierra proveniente del nevado de Toluca, ahí, entre las nubes, calles empedradas, techos de teja roja y amaneceres espectaculares propios de San Andrés de los Gama, localidad del Municipio de Temascaltepec, hace 48 años nació Federico Barrueta Barrueta.

Hombre sencillo y humilde, pero de mirada penetrante y firme en su decir, tuvo una infancia acogedora en el pintoresco municipio de Temascaltepec como se conoce cariñosamente a su lugar de origen. Su padre, Don León Barrueta y su abuelo, fueron su guía para aprender a amar el campo, y combinar las tareas escolares con la siembra y la cosecha de los huertos familiares.

La tranquila comunidad de San Andrés de los Gama, donde pareciera que el tiempo no pasa, fue para Federico Barrueta el mejor espacio de juegos y aprendizaje, laboratorio de inventos de un incipiente joven que entre lo lúdico y lo serio del campo, fue desarrollando habilidades sin hablarlas demasiado, se las quedaba en el interior, como se siembra en la tierra esperando que la madre naturaleza empezara a hacer su trabajo.

El lugar donde creció Federico Barrueta marcó definitivamente la forma en que observaba al mundo y viceversa, como señala Alicia Lindón:

El énfasis en el espacio-temporalidad del hacer, de las prácticas, es una herencia directa del pensamiento schutziano. Para las sociologías de la

vida cotidiana, la dimensión espacio-temporal supone el reconocimiento de que la acción práctica siempre tiene un posicionamiento en un «aquí» y un «ahora», desde donde se ve al otro, desde donde se ve de una particular forma al mundo, claro, se trata del «mundo a mi alcance» (Lindón, 2000).

No podríamos hablar de Federico Barraeta sin San Andrés de los Gama, su tierra y la historia la lleva en la sangre, lo que sus ojos han visto lo ha traducido en reglas, sabores, sensaciones y experiencias vertidas en la segunda bebida más consumida en el mundo: el café.

De acuerdo a lo que le dicta el recuerdo y el corazón, señala que el café históricamente llega a Temascaltepec a través de la mina del Rincón o también conocida como Real de Minas, la cual data aproximadamente de finales de 1800 y promovió una zona con mucha actividad mercantil conectada directamente a la ciudad de Toluca; asimismo, se creó una conexión directa con el municipio de Tejupilco, donde había muchos mesones y hoteles, lugares obligados de paso para el transporte de mercancías, ganado y pieles.

En esta misma ruta comercial, Federico considera que llegaron los primeros granos de café, principalmente provenientes de Veracruz a Real de Minas, siendo las tres haciendas existentes en ese momento quienes recibían este producto, sin embargo, no conoce referencias de que en ese entonces ya se produjera en la entidad.

Así, aproximadamente en 1950, en San Andrés de los Gama, iniciaron huertos entre los que destacan los pertenecientes a Telésforo Carrión y Patricio Escobar, quienes realizaban una agricultura de traspatio, con una producción totalmente de autoconsumo, contando con aproximadamente una hectárea por productor.

Para finales de 1970, Federico recuerda que en la región se cultivaba grano criollo, aguacate, chirimoya, chícharo y durazno, sin embargo, como en todos los cultivos de temporal, las inclemencias del tiempo determinaban las cosechas, por lo que muchas veces el recurso invertido no se recuperaba totalmente aunado a que la temporalidad de las siembras provocaba que a finales de año la escasa economía familiar no tuviera movimientos.

A partir de ello, su papá, Don León Barraeta, sugirió a su hermano Marcelino que le permitiera trabajar la producción de café en un terreno heredado, con la visión de producirlo para el sustento familiar, aprovechando lo bondadoso del café, ya que percibía un fácil procesamiento y posterior venta en la zona.

Aquí me parece importante resaltar la búsqueda del sustento como emblema de lo que más adelante mostraremos sobre la vida de Federico, y es que la satisfacción de necesidades fue parte de las mejores herencias que pudo tener de su padre, más allá de acumulación de riqueza o ejercer el dominio sobre otras personas a partir del trabajo en el campo, Don León inculcó a sus hijos la búsqueda del sustento para los integrantes de la familia de una manera digna, como lo señala Gerardo Torres Salcido:

Sería conveniente empezar por distinguir las necesidades esenciales de los bienes destinados a satisfacerlas. Las primeras se conceptualizan como aquellas que surgen de nuestra necesidad de abrigo, de alimentación y de convivencia social, tales como la salud y la educación. A ello se une la aspiración de vivir una vida larga y saludable, así como la dignidad, que se asocia con las ganas de vivir y realizarse como seres humanos. En tanto, los bienes están destinados a satisfacer necesidades derivadas de la alimentación, el vestido, la vivienda, la salud y la educación, así como otras necesidades asociadas que posibilitan la consecución de esa vida larga y digna (Murillo, 2005).

Con esta búsqueda de la satisfacción de necesidades básicas, la familia de Federico Barrueta aprovechó el acercamiento que tuvo el Gobierno del Estado de México a través de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (Sedagro), hoy Secretaría del Campo y de la Protectora de Bosques (Probosque), las cuales desde finales de 1970 hasta la década de los 90's, impulsaron la producción de café en la entidad, trayendo mucha planta de Veracruz, principalmente del municipio de Coatepec, con la intención de volver al sur de la entidad una región cafeticultora, sin embargo, hoy visto a los años de la experiencia, para el productor, ese impulso no tuvo guía y control adecuado, la planta de café traída de aquella entidad fue demasiada, sin trazabilidad, es decir, sin control de variedad, sin las condiciones adecuadas, aunado a que los productores mexiquenses no conocían los procesos.

Aun así, la región hizo propia la producción de café, si bien la planta había sido traída por una institución gubernamental, socialmente fue aceptada por los productores, lo que genera aún más arraigo para la población, e hicieron suyo el café.

Después de los inicios de la producción de traspatio, se organizó una Asociación Local de Productores Rurales, de la cual, la familia Barrueta formó parte en su arranque, sin embargo, la filosofía de los Barrueta les hizo salir de dicha Asociación entre 1990 y 1994, y a partir de esta fe-

cha, optaron por trabajar una marca y empaque llamada Café Barrueta, enfrentando una dificultad más ya que tuvo que cambiar dicho nombre por la similitud con la Finca Productora de Café Barrueta, buscando a partir de ese momento un proyecto de nombre y de imagen, esfuerzo que obtuvo resultados hasta el 2003.

La vida de Federico Barrueta ha sido una montaña rusa de emociones, vaivenes que lo han puesto en la lona, pero nada lo ha vencido, pareciera estar hecho de una madera inquebrantable, de los de antes como decían los abuelos.

Muestra un carácter duro, recio, sonrío, pero es firme en sus palabras, incluso se disculpa si sus escuchas se sienten ofendidos por la claridad y sinceridad de sus dichos, transparente y certero, tiene en su voz escasa diplomacia, pero absoluta verdad.

Estamos acostumbrados a que la generalidad nos muestre a una persona que, al estar en el campo, puede ser muy amistoso, cálido y con palabras que lo hacen sentirse en familia, pero el señor Barrueta es diferente, la hospitalidad es algo innato, pero se muestra una coraza dura, impenetrable.

Decidió estudiar dos carreras técnicas en la Universidad del Ejército y la Fuerza Aérea, en dicho ambiente de las fuerzas armadas se mantuvo alrededor de 12 años, una de las carreras fue en armamento y la otra de técnico en mantenimiento en aviación, en la última fue donde pasó más tiempo.

Dicha escuela se encontraba en Santa Lucía, Estado de México, pero después de su graduación, Barrueta se trasladó a Culiacán, Sinaloa, trabajando en el escuadrón aéreo 214 de operaciones especiales, para posteriormente pasar al escuadrón 109 de aviones ligeros tipo Cessna 182, desempeñándose como mecánico a bordo.

Esta actividad es la que marcó definitivamente el carácter de Federico, ya que la disciplina militar lo llevó a niveles altos de concentración y de aplicación de los aprendizajes, el coraje y la valentía para poder desarrollar cualquier actividad que le fuera encomendada, la mayoría de ellas son compañeros o maestros que le estuvieran indicando si los procesos a desarrollar iban por buen camino.

En sus propias palabras señala que fue “una experiencia muy buena que tuvimos en las fuerzas armadas era que nos enseñaron principalmente a ver que podíamos hacer con lo que teníamos, no sin buscar grandes cosas, eso fue lo que me ayudó bastante en el proyecto del café.”

Para Federico Barrueta este es uno de los mayores logros que atesora del ambiente en el que se desarrolló, a valerse por sí mismo, sin

herramientas, sin recursos, sin apoyos que le permitieran desarrollar de manera óptima su trabajo, se acostumbró simple y sencillamente a resolver con las herramientas que tenía a la mano, con la gran diferencia con respecto a otros trabajos, que de esa astucia y habilidad le iba la vida de por medio.

Sin embargo, la poderosa mentalidad que posee, le permitió ver ambos lados de la experiencia, ya que, por un lado, se convirtió en un hombre firme de sus convicciones, de una apariencia dura, claridosa y sincera, pero al mismo tiempo, con la visión de amar lo que hacemos;

...algo que se aprendió mucho en el trabajo, cuando trabajaba para las fuerzas armadas era de hacer todas las cosas lo mejor posible, hacerlas con gusto con pasión, no verla como obligación, no verla como trabajo todas las actividades que uno realice en la vida y en el café lo que hicimos simplemente vimos que había café trabajamos café y lo hicimos con aquel gusto, con el placer, ver aquella situación no como obligación, no como una fuente de ingresos sino saborear la actividad, encontrarle su punto de placer, donde no lo veamos como trabajo no lo veamos como una obligación sino aquí principalmente se está viendo como un gusto a la actividad muy lejos de ingresos muy lejos de trabajo.

El productor rememora que su amor por el café se volvió inmenso cuando su papá, Don León Barrueta, por su avanzada edad y las complicaciones de diversas enfermedades, ya no tenía las condiciones necesarias para seguir trabajando, por lo que en una charla con su gran amigo, el Doctor Daniel Cardozo Jiménez, en su momento, jefe de departamento en las instalaciones de la Universidad Autónoma del Estado de México en el municipio de Temascaltepec vio que Federico podía tener “buena mano” para trabajar el café, no solo desde el punto de vista del autoconsumo sino en una forma más empresarial, con otros objetivos totalmente diferentes, y les realizó la invitación para realizar un proyecto en las incubadoras empresariales que ofrecía la máxima casa de estudios de la entidad, específicamente en el departamento de desarrollo empresarial de la Universidad en la capital del Estado de México.

Así, la tierra y las raíces llamaron al productor para regresar a San Andrés de los Gama, el amor por su padre y ante las inminentes enfermedades, Federico sabía que tenía que regresar con los suyos, y la invitación a ser parte de las incubadoras empresariales terminaron de convencerlo de trabajar con el café de una manera diferente a la que había conocido muchos años atrás.

De esta manera, inició su proyecto bajo la dirección de la Doctora Patricia Martínez, con un trabajo que se había considerado para 4 meses, pero debido a su empeño, dedicación y la perspectiva que observaron desde la universidad, se convirtió en un arduo proceso de año y medio.

El impacto había sido radical, para Federico se reunían en este proyecto dos mundos totalmente diferentes, el campo, la tierra, el café, la familia y, por otro lado, planeación, números, recursos, proyecciones, elementos que desconocía totalmente y que no encajaban en un primer momento como complementarios.

En dicho proyecto de incubación nos enseñaron principalmente a ver nuestras fortalezas y debilidades, saber en qué situación estaba el proyecto, si tenía prosperidad o simplemente saber cuál era el motivo de hacer la incubación, es lo que nos ayudó, nos catapultó, nos enseñaron a ver muchos aspectos que se desconocían en ese momento, nos ayudó a formalizar muchos objetivos claros a través de la ayuda que nos estaban dando.

La visión que le estaban presentando con la incubadora parecía contraria a lo aprendido con generaciones anteriores trabajando en el campo, sin embargo, la experiencia generada en los trabajos realizados en las fuerzas armadas provocó en el productor la conexión perfecta para entender que podía llevar el café a otros niveles no conocidos en la región.

Durante el desarrollo del proyecto pensó que el trabajo lo podría llevar a la venta y distribución en tiendas locales y regionales, pero poco a poco fue conociendo los problemas logísticos y el volumen con el que contaba, aunado al alto costo del equipo que se requería para trabajar el café.

Sin embargo el mismo proyecto lo llevó a analizar que por el bajo volumen de producción, la opción más viable era enfocarse en producir café de especialidad, dándose a la tarea de buscar empresas certificadoras orgánicas, así, después de conocer los procesos de diferentes empresas, optaron por una certificadora ubicada en Uruapan Michoacán, empresa que les ayudó a identificar que las certificaciones ofrecidas no eran viables para las pequeñas superficies con las que contaban, y no era rentable por los altos volúmenes que el mercado exigía, por lo que la producción generada no era suficiente para cubrir los gastos de inversión de una certificadora.

Así, con diferentes tropiezos y decepciones en el proceso, decidió trabajar con café convencional en una primera etapa, pero con la ilusión de trabajarlo con calidad, y ya para ese entonces, Federico comenzaba a

escuchar sobre café de alta calidad, se desconocía el café de especialidad, pero ya se escuchaban algunos nombres donde hacían mucho trabajo y vendían sus granos de café en mercados muy exclusivos y de muy buen costo para el productor.

Eso lo llevó al siguiente paso de la mentalidad con perspectiva, por lo que terminando el proyecto de la incubadora de empresas se dedicó a estudiar todas las corrientes agrícolas a las que pudo tener acceso, desde la orgánica, biológica, permacultura, homeopática, dinámica y de cero labranzas entre otras.

Su dedicación lo llevó a tomar muchos cursos, diplomados en cafecultura, agricultura, todo lo relacionado al campo y parte del proceso del café, cursos de catación, diplomados en la Universidad Autónoma de Chapingo, acudió a diferentes productores para escuchar que hacían y como lo hacían.

A la par de este proceso de investigación, llegó una invitación en el proyecto de procafé en lo que anteriormente era Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), pero la idea nunca prosperó, siendo nuevamente negativo el resultado.

En otra ocasión, Federico recibió la invitación a participar en una cooperativa de nombre Alma Natural, la cual daba servicio técnico a los municipios de Temascaltepec, Amatepec y Sultepec, cooperativa que les facilitó los trabajos para adquirir una experiencia inusitada, además de contacto con investigadores que marcarían el futuro del café de Federico Barrueta.

En octubre de 2014, la cooperativa Alma Natural realizó un curso sobre café de especialidad, impartido por Tita Hernández y Jorge Martínez, quienes colaboraban en ese entonces para el Centro Agroecológico del Café (CAFECOL) y vieron que el café del Estado de México tenía potencial, sin embargo, comparado con las prácticas y herramientas utilizadas en estados como Veracruz, Oaxaca o Chiapas, la producción del Estado de México era incipiente.

Sin embargo, ambos investigadores tomaron una muestra de café de la finca de Federico, llamada en ese entonces Carmesí, para después comunicarse y señalar que les había gustado tanto que lo promocionaban previo al Certamen Taza de Excelencia, en donde Jorge Martínez era juez nacional.

La Taza de Excelencia es un certamen para los productores del mejor café de México, cuya misión es hacer de la cafecultura una agroindustria rentable y sostenible que promueva el desarrollo regional y que propicie la generación de ingresos en un marco de satisfacción plena de los

consumidores, con la visión de hacer de la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café A.C. (AMECAFÉ) un organismo sostenible en el mediano y largo plazo, capaz de concertar políticas, administrar programas y proveer servicios, en un marco de transparencia y participación corresponsable de todos los integrantes de la cadena productiva.

Sus objetivos estratégicos son el fortalecimiento del Marco Institucional, mejorar la competitividad del Sector Cafetalero, así como el desarrollo del mercado interno (Amecafé, 2021).

La AMECAFÉ ha sido la socia local de Alliance for Coffee Excellence (COE) quien, durante más de 20 años, la competencia Cup of Excellence (COE) ha sido pionera en integridad y transparencia en la industria del café. El nivel de escrutinio al que se someten los cafés COE no tiene paralelo en ninguna parte de la industria. Esto significa que la calidad de los cafés COE también es incomparable. Brindamos a los agricultores las herramientas que necesitan para mejorar el modelo económico de sus fincas con reconocimiento y recompensa financiera por su arduo trabajo y esfuerzo (Leite, 2020).

Taza de Excelencia se enfoca a la promoción y venta del café mexicano de especialidad en los nichos de mercado internacional que buscan café de especialidad con puntajes de evaluación sensorial arriba de 86-87 puntos, a través del programa de cataciones y subastas electrónicas en las que participan los principales tostadores del mercado internacional de café de especialidad. Dichas empresas forman parte de la membresía de Alliance for Coffee Excellence, organización americana que creó este programa Cup of Excellence (Taza de Excelencia) en 1999 y que ha consolidado una familia global de empresas que aman el café y que apoyan el Programa Cup of Excellence.

Así, Jorge Martínez se encargó de que, para la siguiente convocatoria del certamen Taza de Excelencia emitida en el primer trimestre de 2015, entre 7 y 10 muestras de café mexicano participaran como invitados de honor, con la grave desventaja de que en esa fechas las condiciones climatológicas no habían sido las mejores para obtener la cosecha esperada, por lo que, aunado al mal tiempo que tuvo la producción, solo la muestra enviada por Federico Barrueta obtuvo calificaciones con los menores defectos permitidos, quedando eliminados el resto de los participantes del Estado de México debido a cuestiones diversas como el mal manejo, procesos mal enfocados, malas prácticas y secado en demasía.

Sin embargo, esta primera participación resultó bastante accidentada, el mal clima tampoco permitió el corte del lote en tiempo y forma, lote que tenía que ser enviado a los almacenes ubicados en Veracruz,

Chiapas o Oaxaca, así que el resguardo no se realizó conforme a las reglas establecidas en la convocatoria y no se tuvo participación en las primeras etapas.

Sin embargo, debido a las percepciones que había tenido el juez, se le dio una oportunidad especial para que el café de Federico se incorporara en la etapa de semifinales. A través del despacho de Alma Natural se mandó una muestra a los almacenes de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, y siendo una participación extraoficial, el café de Federico tuvo una calificación histórica, con puntos de 90.11, quedando a sólo 2 centésimas del primer lugar originario de Huatusco.

Dicha puntuación causó un gran revuelo entre los asistentes, las sensaciones eran de sorpresa y asombro, les parecía increíble que una entidad no reconocida oficialmente como productor de café pudiera tener esos puntajes tan sobresalientes.

En ese momento, Federico Barraeta encontró un nuevo mundo, nuevos retos y metas por trazar, ahí fue su primer encuentro con el café de especialidad, ahí se dio cuenta del potencial que tenía su café, y de manera inmediata se planteó el siguiente paso: proyectar el trabajo que realizaba con el café para mejorarlo y en un máximo de 3 años estar entre los 10 primeros lugares del país.

El primer descalabro de esta etapa fue que al no estar el Estado de México en el censo nacional de productores de café, compradores e intermediarios se portaron de manera deshonesto, haciendo dudar a Federico de continuar con el proyecto, la gente le insistía en que no participara más, que nunca iba a destacar, que había sido un golpe de suerte y abusaron de ese momento para mal pagar el producto o incluso no pagar en lo absoluto por su café ganador.

Estos abusos e indiferencias de los participantes impulsaron al productor a trabajar aún más fuerte, y así, con un esfuerzo independiente, sin apoyo, con el único respaldo de su corazón y sus manos, en 2018 volvió a recibir la invitación para participar en el certamen Taza de Excelencia; un mejor clima y corte de lote, permitió enviar a tiempo las muestras a los almacenes de Córdoba Veracruz, y cumpliendo todos los requisitos de la convocatoria, ese año obtuvo una puntuación de 90.47, recibiendo el segundo lugar nacional, por debajo de los 90.7 que obtuvo el primer lugar proveniente de Jalisco.

En esta ocasión ya no había lugar a dudas, oficialmente el café del Estado de México era reconocido, el potencial no era cuestión de casualidades, ahora sí ya se tenía todo el respaldo para aparecer en las listas del certamen Taza de Excelencia, el asombro era unánime pero el recono-

cimiento al esfuerzo y la pasión impresas en el café representaban para Federico un antes y un después en la vida, significó llegar a un peldaño a base de mucho sacrificio y de no detenerse ante ningún obstáculo, ahora acariciaba un momento por el cual había soñado y nadie le podía arrebatar esas sensaciones.

Después de la participación en el certamen de 2018 realizado en la Ciudad de México, llegó la edición 2019, realizada en Xalapa Veracruz, ahí obtuvo un cuarto lugar con una puntuación de 90.13.

La calidad del café de Federico Barraeta no había permitido bajar de los primeros lugares en cada participación con “una muy buena justicia social a través de la subasta, muy buena recuperación económica.”

Así fue formando su carpeta de experiencias, 8 o 9 eventos en este periodo, constancias de participación anual, un segundo y un cuarto lugar respaldaban su trabajo, lo empezaron a tomar en serio. Para el 2020, debido a la pandemia no hubo certamen, y para 2021 el evento se realizó de forma virtual, consiguiendo nuevamente un cuarto lugar con puntaje de 90.13.

Para esta participación, los organizadores llegaron a la conclusión de que solo Federico Barraeta, del Estado de México, y Roberto Licona de la Finca la Herradura de Veracruz, eran los participantes más constantes ganadores de premios presidenciales de manera consecutiva.

Sin embargo, aquí no acaban los sueños de Federico, tiene la firme convicción de dar un paso más adelante de los demás, buscará conseguir su cuarta participación y su cuarta constancia a corto plazo, a nivel nacional espera consolidarse entre los 10 principales productores de café de alta calidad, y a largo plazo, estar entre los 30 o 50 productores a nivel internacional.

De igual manera, busca ubicar su producto en los principales mercados internacionales, ya que actualmente tiene presencia en Corea del Sur, pláticas con potenciales compradores de Polonia, el lote ganador del certamen Taza de Excelencia se vendió a clientes de Estados Unidos y a inicios de este 2022 se reunió en una cata con posibles compradores de Dubái, incursionando así en los cuatro principales mercados del mundo, con el enorme reto de incursionar en uno de los mercados más difíciles para competir por el alto nivel que se maneja de café de alta calidad: Australia.

La calidad del producto presentado por el productor, lo ha posicionado entre las figuras más destacadas del mundo del café en nuestro país, por ejemplo, Gabriel Marín González, cofundador del proyecto Barra de Café de Especialidad La Tengara Pingus, quien se ha esforzado por

tener café con trazabilidad a fin de generar cadena de valor, a través de un mercado justo.

A lo largo del proyecto de La Tengara Pingus, ha trabajado en generar conocimiento y han aprendido que todo es importante, desde la región en la cual se tiene la finca de café, la siembra de las variedades por tipo, el cuidado de las plantas, la cosecha y la selección de las cerezas maduras, el tiempo y el proceso del secado utilizando, ya sea lavado, natural, enmielado (negro, rojo, amarillo, morado y blanco), maceración carbónica, fermentación controlada y otros procesos experimentales, el proceso de despulpado, el tueste del café (Tuestes claros, tuestes medios, tuestes oscuros, entre otros) y la mano del que prepara la taza.

Para La Tengara Pingus, los cafés que han trabajado los municipios mexiquenses de Amatepec, San Simón de Guerrero, Temascaltepec y Almoloya de Alquisiras, tienen sus características especiales que han resaltado el gusto de una taza con una acidez especial que resalta su alta densidad. Por ejemplo, el café de Federico tiene una concentración fuerte de azúcares en la curva del tueste, muestran un proceso tan delicado, aromático y sensacional que en un instante podemos apreciar el grano como una gota de azúcar transparente en proceso de caramelización.

Cuando Gabriel Marín inició su proyecto, encontró en un artículo el trabajo realizado por el productor y tardó ocho meses en poder contactarlo, para finalmente conocerlo el 13 de octubre de 2020 en una visita que hizo con su familia a la finca en San Andrés de los Gama.

Ahí descubrió que el café de Federico es producto del arduo trabajo con las plantas, de su dedicación para aprovechar los nutrientes y la altura de la región, mostrando la trazabilidad y la calidad cuando hay amor y pasión por generar una taza de excelencia con una acidez brillante, un cuerpo denso y una dulzura que hace salivar para un posgusto prolongado fascinante.

Gabriel Marín cree que Federico Barrueta ha generado el ejemplo para un cambio en el trabajo con el café de especialidad, el trabajo con su café a lo largo de los últimos años ha permitido que varios productores mejoren su trabajo para generar valor en la cadena y algunos han presentado el producto en el certamen Taza de Excelencia con el asesoramiento de Federico.

Asimismo, con su laboratorio de plantas que ha trabajado por varios años, le ha demostrado al mundo lo que hay que cambiar o mejorar desde la siembra, el corte, la cosecha, un buen tueste y una extracción adecuada, además de su carisma, gentileza y humildad por generar co-

nocimiento guiando a muchos productores para mejorar los procesos y producir buenos cafés.

Para Gabriel Marín, este productor ha sido inspiración para promover el café mexicano con una filosofía de mercado justo, reconocimiento al productor, compartir conocimiento, ayudar al pequeño productor, vincular maestros tostadores con productores, compartir experiencias, promover el consumo de café de especialidad y cambiar el gusto de un buen café con una taza de especialidad. Ha generado una iniciativa que ha permitido a proyectos como La Tengara Pingus estar de pie, luchar por una visión propia, consumir un excelente café y llegar con sus granos a toda la república y otros países en tiempos de pandemia.

Gracias a Federico Barrueta, La Tengara Pingus ha logrado tener en su barra lo mejor de México, sus pláticas, sus consejos, sus asesorías, su sabiduría, sus charlas en la finca y en la barra han hecho que busquen ser una barra cada día mejor.

En la opinión de Raúl de Arcangelis, Director de Panchito Café, quien conoció al señor Barrueta en un curso de procesos de fermentación en la zona de Coatepec, Veracruz, el café de este importante productor se distingue por su sabor dulce, con una acidez muy bien encapsulada, donde se detectan sabores de ciruela pasa y aromas florales.

De acuerdo a Raúl Rosales Lechuga, estudiante del Doctorado en problemas económico agroindustriales en el Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), de la Universidad Autónoma de Chapingo y socio fundador de la empresa Anónimo Café, cada una de las fases de la cadena de valor del café es importante, conociendo con antelación la meta que el productor quiere con su café, llegar a un mercado convencional o incursionar a un mercado de cafés de especialidad.

En campo, el trabajo inicia desde escoger la semilla que se va a sembrar, es de una variedad dirigida a la producción, a resistencia a plagas y enfermedades, a la alta calidad en taza, etc. Así como el sistema productivo que se va a implementar, con sombra diversificada, sombra especializada, sin sombra, producción con uso de agroquímicos, orgánico. Ya una vez iniciado el proceso de cosecha, es importante una cosecha selectiva, en las etapas de beneficiado húmedo y seco, cuidar la inocuidad y parámetros o indicadores de calidad.

Posteriormente evaluar la calidad ante un panel de catación certificado, que le garantice al comprador o cliente lo que está recibiendo. Si se incursiona en la venta de café tostado y molido, es necesario que el tueste del café lo realice un experto o maestro tostador.

Rosales Lechuga conoció a Federico en el programa de extensionismo Procafé e impulso productivo al café de la SAGARPA, operado por la Universidad Autónoma Chapingo en el 2015, siendo coordinador operativo y dando seguimiento a los trabajos de los técnicos con los productores, actualmente, reconoce a Federico Barrueta por su experiencia en el certamen de Taza de Excelencia, la consistencia en su trabajo, al lograr conseguir un café de la más alta calidad a nivel nacional, con un alto puntaje y un perfil distintivo.

Una de las personas que más han influido en Federico Barrueta es Patricia García Hernández, Coordinadora de Desarrollo Empresarial del Centro Universitario Temascaltepec de la Universidad Autónoma del Estado de México, quien de manera rigurosa llevó a Federico a comprometerse como emprendedor en la incubadora de empresas de la Máxima Casa de Estudios de la Universidad y a quien destaca como un productor comprometido con la calidad, siempre tratando de estar a la vanguardia y sobre todo, un productor que ama y respeta a su producto, el café de calidad.

Rudy Altamirano, *Head roaster* y catador Q de Ilustre, se encarga de tostar y evaluar las muestras de café, así como decidir lo que va a tener disponible para venta. Su equipo conoce y aprecia todos los pasos de la cadena de valor del café, desde conocer la finca, los procesos, el tueste y la preparación en barra. Conoció a Federico en el evento de Simbiosis en la Ciudad de México apenas este 2021 y considera que hay varios aspectos positivos que lo distinguen: hay muy pocos productores de café mexiquense y todavía menos productores que manejen la calidad de café de Federico. Es muy notorio que maneja sus procesos con mucha diligencia y ese trabajo se refleja en la taza.

Otro aliado estratégico fundamental para dar a conocer el café de Federico Barrueta es Lugo, fundador, tostador y barista de Entrenubes café y cacao de especialidad, quien señala que, si el productor trabaja bien su campo, de manera estricta, tendrá buenos resultados, por ello trabajo como el de Federico Barrueta y Clímaco Cruz han dado muy buenos resultados, y para Lugo, el café mexiquense tiene mucho potencial para ser uno de los mejores cafés del mundo.

Lugo trabajó como voluntario en el certamen Taza de Excelencia, y ahí tuvo la oportunidad de probar los mejores cafés de México, y entre ellos el café que produce Federico, a quien distingue por la calidad, ya que considera que no solo produce uno de los mejores cafés del mundo, también se capacita constantemente y eso se ve reflejado en su trabajo, riguroso e inteligente.

En México, en general, los cafés se distinguen por tener un perfil sensorial similar, sin embargo, el café de Federico Barrueta tiene una calidad diferente, sabores y atributos muy complejos que hacen diferencia entre los demás. Asimismo, el clima donde produce también es diferente a otros estados de la República, con una altura de 2100 metros sobre el nivel del mar y la nutrición del terruño con micronutrientes volcánicos, agregan calidad del cafeto.

Otro factor importante es que mientras en otras entidades cosechan durante los últimos meses del año, Federico lo hace durante la primavera, cuando el clima es cálido y eso ayuda a la maduración beneficio de las cerezas del café, lo que refleja que conoce su Finca y aprovecha los beneficios que tiene a su favor.

Azimut Café, del Dr. Misael Josué Marín Sánchez, es un gran aliado de los productores de café de la entidad, aquí es muy importante el trabajo de campo, la investigación, el cultivo, el beneficio y la selección, así como el trabajo en el taller el laboratorio mediante el diseño, el tueste y el uso de la tecnología, para finalmente enfocarse en la extracción.

El Dr. Misael tiene la mejor respuesta para voltear a ver al café del Estado de México: Elegir el café de especialidad, a diferencia de todo el café mexicano, y sobre todo de aquellos productores que realmente tienen una particular vocación y seriedad al tratar su trabajo.

En Azimut reconocen en Federico Barrueta el gran trabajo en campo, en el beneficio, en la selección, el compromiso y el amor con el que se enfoca en buscar formas distintas de ofrecer su producto, la presencia de investigación y comparación al respecto de su café con el de otros productores respetables, el hecho de saber que siempre se puede mejorar y la necesidad de mirar hacia horizontes distintos a los de la media de su región.

Sin embargo también es claro, y advierte que no hay que pensar que el producto es bueno por el simple hecho de que les costó mucho trabajo producirlo (es comprensible ya que el trabajo en campo es duro) sin embargo no siempre un gran esfuerzo llevará a grandes resultados, lo que se necesita es un esfuerzo dirigido, una meta, un objetivo, objetivos a corto, mediano y largo plazo, entender que el mercado está cambiando y que la gente está reconociendo entre cafés, regiones, procesos, calidades, entonces no se pueden quedar atrás, dejarse ayudar y acompañarse en procesos de aprendizaje constante para lograr lo que Federico y demás productores han logrado, inclusive cosas mayores.

Después de este tipo de semblanzas y de tener un café ganador en el certamen Taza de Excelencia, Federico no tiene la sensación de haber

ganado, todavía no se la cree y sigue trabajando por mejorar día a día el producto del café para estar en los mejores paladares.

Hombre que se exige de manera constante, Federico dice que

...no nos creemos que somos los mejores, en la región quizás haya mejores cafés, pero estamos haciendo nuestro granito de arena, motivando a los productores locales y de la región para que sigan trabajando en este rubro del café de especialidad.

Por si fuera poco, Federico Barrueta no busca el individualismo, sino la mejora de sus compañeros, que visto desde otro punto de vista, podrían ser sus contrincantes, pero para Federico, el conocimiento debe compartirse, y lo demuestra con hechos, para muestra, el trabajo de uno de sus mejores alumnos, el productor Clímaco Cruz Cruz, de la finca la Teja, de Almoloya de Alquisiras, quien siguiendo al pie de la letra las enseñanzas de Federico, ya logró un tercer lugar en el certamen Taza de Excelencia, y como dice el mismo Federico: “el alumno superó al maestro, pero eso es algo que sirve de mucho, que las palabras no fueron huecas, una persona escuchó, lo puso en práctica y lo hizo, es una satisfacción que tenemos muy grande.”

El trabajo social de Federico Barrueta no termina ahí actualmente en su proyecto también trabaja en impulsar a productores, producir consumidores, producir investigación, producir innovación tecnológica y todo lo que pueda intervenir en la mejora del café.

Asimismo, en este 2022 ya tiene pactadas reuniones con productores mexiquenses y compradores de la Ciudad de México, convirtiéndose en un firme eslabón que no busca el beneficio propio sino el colectivo. En su finca La Ilusión tiene el objetivo de hacer la transmisión de conocimiento a los productores del Estado de México que quieran aprender y explorar mercados diferentes a través del mercado de especialidad, con la única condición de que lo tomen en serio y hagan una incubación de proyectos como el que lo hizo crecer, darse de alta en hacienda y, sobre todo, que estén comprometidos con el café.

Su finca se llama La Ilusión, antes Café Carmesí, y el cambio se dio por la transformación de la mentalidad que hubo a partir de la incubadora de negocios, y se llama así porque tiene la ilusión de que algún día llegue a hacer las cosas mejor que hoy, la ilusión de algún día ser destacados en la producción de café, de saberse nacido en un estado que no es reconocido por la producción de café, pero lograr que sea reconocido a nivel nacional e internacional, esa es su ilusión.

Para Federico Barrueta, la misión de Finca La Ilusión es pensar un poco diferente a la sociedad,

queremos que finca La Ilusión sea totalmente diferente a todos los productores, donde no busquemos precios altos, no busquemos altas producciones, sino busquemos principalmente la satisfacción de los consumidores, que nos recuerden por la experiencia que tengan con nosotros ya sea en la finca o en algún lugar que tomen nuestra bebida y recuerden experiencias totalmente diferentes y también que nos ubiquen por buenos o por malos, por la forma de pensar que es un poco diferente a los productores tradicionales.

La trayectoria de Federico Barrueta no ha sido nada fácil, y no se olvida de aquellas personas que desde el inicio han sido primordiales y fuente de inspiración, como el ingeniero Roberto Licono, de Finca La Herradura, o el Maestro Enrique López Aguilar de Finca Chelín, a quienes sigue frecuentando, aprendiendo de ellos y sintiéndose motivado por sus comentarios para seguir haciendo café de muy buena calidad para un mercado exigente y para paladares totalmente diferentes, para ofrecerles experiencias totalmente ajenas, otro mundo de café opuesto a lo que conocen.

Ellos son sus dos principales maestros, fuentes de inspiración que se siguen muy de cerca para crecer como productor de café y como persona. No se olvida del apoyo recibido por parte de Pepe Arguello de Finca Santa Cruz o de Finca Manto Niebla, y en el tiempo se vislumbra compartiendo los conocimientos y la experiencia adquiridos con productores que quieran seguir los pasos, que quieran destacarse, no solo en la entidad, sino en Oaxaca o Veracruz donde actualmente ya lo hace, con el objetivo de compartir y ver que sus ideas han dado resultado y que lo vean en un concepto diferente.

Federico Barrueta no se detiene, su siguiente meta, la siguiente ilusión, es generar un café único que obtenga una puntuación de 95,

esto lo llevamos a un proyecto a largo plazo que nos conlleva mucho trabajo, mucha experimentación, mucho sacrificio, mucha pérdida, muchos errores, pero gracias a eso vamos a tener el día de mañana, en un tiempo no muy lejano, cafés únicos, es un sueño dorado de finca la ilusión, de que lo logremos y es el objetivo final que tenemos. Nuestros objetivos son muy ambiciosos sí, generan mucho trabajo, sí, pero al final del día la satisfacción es llegar a hacerlo y que le guste nuestro trabajo a las gentes que lo consuma.

Para el momento en el que se genera este texto se estará desarrollando la novena edición del certamen Taza de Excelencia en nuestro país, y seguramente los resultados para Federico Barrueta se mantendrán exitosos, porque como el mismo lo dice:

...ellos (la sociedad) van en el sentido de corriente de río pues vámonos nosotros en sentido contrario es lo que nos ha ayudado bastante y el otro aspecto es de que nos ven un poco diferente a los demás productores, de ser una región no propia no reconocida del café a ser buenos trabajos de café y demás cosas.

Aquí el sueño no acaba, la tenacidad y empeño que le pone Federico Barrueta a todo lo que hace lleva implícita la rigurosidad de la milicia y el corazón de alguien que hace las cosas con pasión, combinación perfecta para mantener la ilusión intacta en una taza de café.

Fuentes consultadas

- Amecafé. (2021). Taza de excelencia 2021. <https://amecafe.org.mx/conocenos/>
- Leite, S. (2020). *Taza de excelencia*. <https://cupofexcellence.org/>
- Lindón, A. (2000). *La vida cotidiana y su espacio-temporalidad*. Anthropos.
- Murillo, S. (2005). Desigualdad, pobreza, exclusión y vulnerabilidad en América Latina. Universidad Autónoma del Estado de México.

Parte IV. Retos agroecológicos y agroindustriales del café del sur mexicano

Impacto de la tecnología de fertilización en café (*Coffea arábica L.*). Sur del Estado de México

José Luis Morales Hernández¹, Felipe de Jesús Gonzáles Razo²,
Manuel Antonio Pérez Chávez³

Introducción

La producción mundial de café se ha incrementado con el avance de las tecnologías de fertilización, así en 1960 se produjeron 4,527,876 ton y para 2021 se llegó a 10,699,153 ton, lo cual representa un incremento de 36% (FAO, 2021). Pese a que América soporta actualmente más del 55% de la producción mundial de café, este incremento se ha debido principalmente al aumento de la producción experimentado en Asia y en particular por Vietnam, que en esos 25 años ha conseguido multiplicar su producción inicial por 20; actualmente 85 millones de sacos de café (Palomares, González, y Mireles, 2019), principalmente de café robusta y este incremento de las producciones se debe, en gran medida, a las técnicas de fertilización.

El mayor productor de café del mundo sigue siendo Brasil, con 51.1 millones de sacos en el año 2022 representa un 39% de la producción mundial o su equivalente en toneladas 3,019,051 toneladas/año (Teixeira, 2021) sus variedades no sobresalen por la calidad que ostentan. En este país solo un 20% de los cultivos son de variedades arábicas y el 80% restante corresponde a café Robusta. Por 150 años, Brasil ha sido el rey de la exportación del café y dado su clima y el tamaño de su país, es muy probable que lo siga siendo por muchos años más, le sigue Vietnam en 2º lugar, con un aporte del 17% en el mercado, la producción de café de Brasil y Vietnam representa el 56% de las exportaciones mundiales de café, En tercer lugar, se encuentra Colombia que aporta un 10%.

¹ Jose Luis Morales Hernández. PTC Unidad Académica Profesional Tejupilco. joseluistem@gmail.com. 51412 Leopoldo Flores Valdez, 51412 Tejupilco de Hidalgo, Méx.

² Felipe de Jesús González Razo. PTC. Unidad Académica Profesional Tejupilco, Fegora24@yahoo.com.mx. 51412 Leopoldo Flores Valdez, 51412 Tejupilco de Hidalgo, Méx.

³ Manuel Antonio Pérez Chávez. PTC. Centro Universitario UAEM-Temascaltepec. maperzch@yahoo.com.mx. Carr. Toluca - Tejupilco Km. 67.5, Barrio de Santiago, 51300 Temascaltepec de González, Méx.*

Actualmente y de acuerdo con datos de FAO (2021) y del SIAP (2021), México produjo en 2017, 838,997 t y en 2021 llegó a 944,913 t, con lo cual México aporta un 2.4% y algunas fuentes reportan que solo aporta el 1.7% a la producción mundial ocupando el 11 lugar de la producción mundial de café. Sabemos que el café llegó a México a finales del siglo XVIII, justo cuando estaba a punto de ganar su independencia. Entró por el puerto de Veracruz, estableciéndose finalmente en este estado y en el de Chiapas, los estados con mejor oferta ambiental para el cultivo.

El panorama nacional de producción de café de acuerdo con el sistema producto de café es el siguiente: Se lograron entre 1990 y 2000; en sólo un lustro el volumen pasó de 5 a 2.3 millones de sacos. El principal productor es el estado de Chiapas, entidad que aporta el 39% del volumen nacional, seguido de Veracruz con el 30% y Oaxaca con el 13%. Otros importantes estados productores son Puebla, Guerrero, Hidalgo, Nayarit y San Luis Potosí, entidades que participan en la generación nacional de este producto (SAGARPA, 2021).

El cultivo de café tiene importancia en la región sur del Estado de México, actualmente, se registran cerca de 600 productores de café en la entidad, una superficie de alrededor de 530 hectáreas cultivadas. Siendo los municipios de: San Simón de Guerrero, Tejupilco, Temascaltepec, Tlatlaya, y Amatepec, donde más se produce puesto que son lugares con las características necesarias para una producción orgánica. El Estado de México produce cerca de 1.7 toneladas de café por hectárea, cuyo número es superior a la media nacional y su expectativa de crecimiento podría aumentar este año, asegura el presidente del Comité Ejecutivo del Congreso Agrario Permanente del Estado de México (Financiero, 2021)

Esta producción de café se origina aun con tecnología tradicional, y solo una organización en Amatepec denominada CAFOA (Café Orgánico de Amatepec) realiza esfuerzos para cambiar hacia un programa integral en el cultivo de manera orgánica, pero se desconocen las cantidades aplicadas de esta tecnología, es decir, no existe un paquete tecnológico orgánico integral para el manejo del cultivo.

Con los anteriores antecedentes en este documento se revisan los aspectos de fertilización en el cultivo de café. El orden para la revisión será el siguiente: nutrientes inorgánicos, nutrición orgánica y aplicación de paquetes tecnológico orgánico e inorgánico.

Nutrientes inorgánicos

Nitrógeno

El nitrógeno es esencial para el crecimiento vegetal y la alta producción de café. La absorción ocurre en la fase precoz durante el desarrollo foliar y la floración. Entre las funciones del nitrógeno están: forma parte de las moléculas de proteínas, participa en la transferencia de información genética y en la fotosíntesis y experimenta gran movilidad en la planta. Las aplicaciones de nutrientes están más altas durante la productividad pico de frutos, normalmente de tres años en adelante. Es en esa fase que la exportación de nutrientes en los frutos es más grande (Medina, 2021).

Una práctica común es aplicar fertilizante con bastante frecuencia, sobre todo nitrógeno y potasio, durante toda la temporada para mantener el crecimiento óptimo (Yara, 2020) informa que el nitrógeno es esencial para el crecimiento vegetal y la alta producción de café. La absorción ocurre en la fase precoz durante el desarrollo foliar y la floración. El suministro de N debe de mantenerse durante la temporada, pero exceso de N a fases tardías del ciclo puede reducir el tamaño del grano de café.

Montero Blanco (2017) manifiesta que el nitrógeno es un elemento esencial para los cafetos y lo absorben en altas cantidades, ya que cumple funciones vitales como crecimiento del vegetal, desarrollo y producción. La dinámica de este elemento en el suelo, está regulada por procesos biológicos, derivados de la actividad microbiana que afecta a las formas minerales y a las formas orgánicas de reserva en el suelo. Las plantas son capaces absorber o asimilar el nitrógeno en forma inorgánica como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+).

Suarez Roso (2016), manifiesta que el nitrógeno es necesario para la época de crecimiento y durante la producción. La fuente de nitrógeno como sulfato de amonio no es muy recomendable porque aumenta la acidez del suelo, se recomienda aplicarlo en forma de urea.

Para Cinecafe (2017), las plantas con deficiencia de nitrógeno exhiben los siguientes síntomas:

- Clorosis relativamente uniforme de las hojas más viejas.
- Senescencia prematura de las hojas y posterior defoliación de las ramas productivas.
- Poca emisión de nuevos brotes reducción en el crecimiento de la planta.

- Ante una deficiencia severa, la defoliación es acompañada de clorosis en las hojas más nuevas. Puede presentarse muerte descendente de las ramas y paloteo.
- Reducción en el crecimiento de los frutos, estos se tornan amarillos y en ocasiones se secan.
- Épocas de aplicación y dosis del fertilizante.

Chávez (1999), menciona que las épocas de aplicación están definidas en gran medida por el régimen de precipitación ya que este ejerce una fuerte influencia sobre la fenología de los cafetos y es indispensable para mantener una humedad adecuada del suelo que permita un crecimiento activo de largo plantas, así como la solubilización de los nutrientes contenidos en el fertilizante. Es por ello que la aplicación de abonos al suelo debe restringirse al periodo lluvioso; y dentro del, evitarse la aplicación durante “veranillos” intensos. Por otra parte, con el propósito de disminuir la pérdida de nutrientes por lixiviación, escorrentía o volatilización, se recomienda el fraccionamiento del fertilizante en 3 épocas. Zamora (2012) indica que el fraccionamiento debe incluir el 60% de N, 100% de P y Mg y 40% de K en la primera aplicación, y solo el 40% de N y 60% de K en la segunda aplicación. Suarez Roso (2016) indica que la aplicación de fertilizantes en cultivos de café debe comenzar al momento de la siembra (asumiendo una adecuada fertilización en vivero) y sucesivamente cada año hasta el cuarto año. Las dosis recomendadas al año deben repartirse en 3 o 4 aplicaciones, según si la plantación está en fase de crecimiento o en fase de producción y teniendo en cuenta el régimen de lluvias locales.

Roso (2016) indica que la respuesta del cultivo del café a adiciones de nitrógeno es siempre positiva, y tanto los países africanos, como americanos y región del caribe reportan excelentes resultados a la aplicación de este elemento, especialmente cuando se hace 3 a 4 veces al año. Los rangos de aplicación anual reportados para varios países varían entre 130 y 450 kg.ha⁻¹ y los rendimientos respectivos varían entre 1880 kg/ha a 3600 kg.ha⁻¹ de café limpio de mercadeo. El nivel crítico de aplicación para este elemento está alrededor de 220 a 260 kg.ha.año, dependiendo de la productividad deseada.

Fósforo

El fósforo en el cultivo de café desempeña un papel importante durante las primeras etapas del desarrollo del cafeto, es el responsable de formarlo vigorosamente, con buen sistema de raíces, como promotor de la

floración y del desarrollo del fruto en la etapa de producción; durante la etapa de reproducción el fósforo es imprescindible en los mecanismos de formación, crecimiento y multiplicación de los órganos de la flor. Para remediar la deficiencia de fosforo en el suelo, los productores recurren a la aplicación excesiva de fertilizantes fosfatados (superfosfato doble 60 gramos por árbol, o superfosfato simple, 120 gramos por plnate).

Sadeghian *et al.* (2008) mencionan que el fósforo juega un papel importante en la fisiología de las plantas es constituyente de muchos compuestos esenciales como ácidos nucleicos, azúcares fosforados, núcleo proteínas, enzimas, vitaminas y fosfolípidos. Una de las principales funciones está relacionada con los procesos energéticos dentro de la planta.

El fósforo es necesario para el desarrollo del tejido leñoso en planta y brotes de recepa y para el crecimiento radicular. En cafetos en producción, este nutrimento ocupa el quinto lugar en el requerimiento para el cultivo. La necesidad del fósforo se determina mediante un muestreo de suelos y su respectivo análisis químico foliar (3 er par de hojas) como complemento. La movilidad del fósforo en el suelo es bien mínima debido a las interacciones que existen con el hierro, aluminio y magnesio en suelos ácidos; con el calcio en suelos neutros y alcalinos (Adler *et al.*, 2018).

Cuando el fósforo se encuentra deficiente en la planta los síntomas se presentan en las hojas adultas, observándose manchas amarillas de diferentes tamaños; simultáneamente aparecen en las hojas manchas de color rojizo a pardo rojizo, que puede cubrir toda la hoja (Colina *et al.*, 2017).

Potasio

El Potasio participa en el tamaño, forma, color, fragancia y sabor del café. Contribuye al endurecimiento de los tejidos de sostén y resistencia a enfermedades (Munguía *et al.*, 2018). Favorece la conversión de energía lumínica en energía química, además incrementa el efecto del Nitrógeno y contribuye a la fijación de Nitrógeno atmosférico (Mogollón *et al.*, 2017). La deficiencia de este elemento se manifiesta en hojas adultas produciendo áreas necróticas hacia el interior de las hojas en forma de “V”.

Calcio

El calcio se encuentra ligado a compuestos orgánicos de la célula. Tiene una importante función en la estabilización de la pectina en la lámina

media de la pared celular. Se encuentra en precipitados como oxalato de calcio en la fitina, formando sales de ácido inositol hexafosfórico. En el café, el efecto del calcio es vital para el crecimiento de las raíces. En suelos con bajo contenido de calcio, las plantas de café manifiestan los síntomas de carencia, inicialmente en las hojas nuevas, observándose un área clorótica (blanco-amarillenta) que se extiende del borde de la hoja hacia el centro y provoca generalmente una deformación convexa de la lámina foliar y un sistema radicular pobre. La falta de calcio generalmente coincide con una fuerte acidez del suelo, que también produce una baja saturación del complejo de cambio con los nutrientes catiónicos Ca, Mg y K. En el laboratorio de análisis de suelos utilizando la solución de KCl N, como extractora se considera como nivel crítico el de 4 meq de Ca 100 g de suelo (Herrera, 1997).

Magnesio

Es parte estructural de la molécula de clorofila con la que interviene en la fotosíntesis, de la cual es también activador enzimático al igual que de los procesos de respiración y formación de ácidos nucleicos. Además, en combinación con el ATP participa en numerosas reacciones de fosforilación. Del suelo la planta lo absorbe como ion divalente Mg^{2+} ; ya dentro de la planta presenta una fácil translocación por lo que los síntomas de su deficiencia en café, se observan con mayor claridad en las hojas más viejas, donde son bacilarmente identificables al presentar una típica clorosis intervenal que en forma de franjas abarca gran parte del área comprendida entre las venas laterales secundarias. Normalmente los síntomas de deficiencia de magnesio se agravan a partir del inicio del llenado del fruto, época en que la demanda de nutrientes es grande.

Boro

Si bien la esencialidad del boro para las plantas es universalmente aceptada y son bien conocidas las sintomatologías que su carencia provoca en diversos cultivos, el papel específico de este micro elemento dentro de la bioquímica vegetal no es claramente establecido, por lo que sigue siendo materia de investigación. Entre las diversas funciones que se le han atribuido están las de intervenir en el metabolismo de auxinas, sustancias fenólicas, proteínas y ácidos nucleicos, así como el de participar en la formación y funcionamiento de las paredes y membranas celulares, además se le asocia en el transporte de azúcares, para lo cual se han sugerido diversos mecanismos; es también conocido su efecto

sobre la germinación y fertilidad del polen ya que su carencia afecta drásticamente la formación del tubo polínico. El boro se encuentra en la solución del suelo principalmente como ácido bórico no disociado, de donde es absorbido por las plantas mayoritariamente en forma pasiva; ya establecido dentro de los tejidos vegetales el boro presenta poca movilidad, por lo que su carencia afecta principalmente los tejidos más jóvenes. Entre los síntomas más característicos de la deficiencia de boro en café se encuentra el desarrollo anormal de las hojas, las cuales en general son más pequeñas con bordes irregulares, asimétricos, un tono opaco y textura coriácea. También es frecuente la formación de bandolas con entrenudos cortos y la muerte de los puntos de crecimiento, lo que estimula el desarrollo de yemas laterales en las bandolas con la consiguiente formación de “palmilla”.

Zinc

Las plantas deficientes en zinc acumulan en sus células ácido indolacético, por lo que se considera que este micro elemento intervendría en la biosíntesis de las auxinas, por otra parte, es también conocida su función de activador metabólico de numerosas enzimas. La solubilidad del zinc en el suelo se ve fuertemente afectada por el pH, siendo mayor en suelos ácidos y mucho mejor en condiciones neutras o alcalinas. El zinc es absorbido por las plantas como ion divalente Zn^{2+} o como quelato. De esta forma la materia orgánica juega un papel importante en la dinámica del zinc en el suelo, considerando algunos autores que alrededor del 60% del zinc se encuentra en forma de complejos orgánicos. Al igual que el boro, una vez establecido en los tejidos vegetales presenta una escasa movilidad. Los síntomas más evidentes que produce la deficiencia de zinc en los cafetos, es la formación de hojas de escasa área foliar, de apariencia lanceolada (alargada), coloración verde pálido y textura áspera al centro (coriácea). Es también característico el desarrollo de bandolas con internudos de poca elongación y el enrollamiento de algunas hojas que, al doblarse sus bordes hacia arriba, forman una especie de cartucho. En hojas poco afectadas el tamaño es normal, no obstante, resalta la coloración verde de las nervaduras que forman un retículo sobre el bordo amarillento de la lámina foliar (Chávez, 1999).

Aplicación de los nutrientes y micronutrientes en café: Uso de paquete tecnológico

La aplicación de los nutrientes requiere de estudios experimentales de absorción, de relaciones suelo-planta, estos trabajos se han generado desde hace una década por los institutos de investigación estatales y federales. Los resultados se han publicado para las principales regiones cafetaleras, Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Puebla e Hidalgo. Estos trabajos referentes a los paquetes tecnológicos han sido integrales, esos escritos se refieren a la fertilización, control de plagas enfermedades, y aspectos agronómicos como número de plantas, dependiendo de las diferentes variedades sembradas en cada estado y región.

Los primeros paquetes tecnológicos se generaron solo para fertilizantes inorgánicos, actualmente se da un giro en las diferentes instituciones de investigación para productos orgánicos y de la misma forma se han generado aun solo de manera parcial paquetes de nutrición solo para productos fertilizantes orgánicos. Y se encuentran en proceso de elaboración aspectos de plagas, enfermedades y aspectos productivos como número de plantas y sombreado o no sombreado de variedades utilizadas. En este apartado solo presentamos un ejemplo de paquete tecnológico inorgánico para el centro del país.

Consideraciones técnicas generales del paquete INIFAP, 2013.

- Características geológicas de la región: Altura entre 800 a 1200 msnm
- Clima: óptimo: mínima media de 16 °C y máxima media de 25 °
- Precipitación: 1,800 a 2,000 mm
- Plantación: En curvas de Nivel por la estructura física de la región
- Variedades de altura: Garnica, Caturra y Típica.
- Ambientes intermedios: Típica, Bourbon y Mundo Novo (estas tres variedades son de porte alto), Oro Azteca, Costa Rica 95 y Colombia (estas tres son de la “familia” de los catimores).
- Ambientes bajos: Típica, Bourbon y Mundo Novo (estas tres variedades son de porte alto), Oro Azteca, Costa Rica 95 y Colombia (estas tres son de la “familia” de los catimores).
- Fechas de plantación: Al inicio de las lluvias.

Arreglos topológicos

En la tabla 1 se presenta un arreglo topológico para el centro de México.

Tabla 1. Arreglo topológico en plantas de café (centro de México, 2013)

Distancia entre plantas (en m)	Distancia entre hileras m	Numero de cafetos / ha
Porte bajo		
1.5	2.0	3,333
1.25	2.5	3,200
1.0	2.0	5,000
Porte alto		
2.0	2.5	2,000
2.0	2.0	2,500
1.5	3.0	2,222
1.5	2.5	2,666

Fuente: INIFAP, Huasteca Hidalguense, 2013

Una vez definido el arreglo topológico, un aspecto importante que tiene relación directa con la productividad del café, es la fertilización, el diseño final para las cantidades de fertilización lleva varios años de ensayos experimentales y variación de la dosis, hasta tener la certeza estadística de cuáles son las cantidades adecuadas de fertilizantes (Tabla 2).

Con una fertilización equilibrada en nutrientes, se tienen plantas más vigorosas y sanas y la producción se aumenta considerablemente. Es recomendable conocer la fertilidad del suelo y cuánto está extrayendo la planta (conocido como fertilización inteligente) mediante análisis de suelo

Tabla 2. Fertilización en el café, por etapas (centro de México, 2013)

Aplicación	Época	Kilos	Por	Hectárea
		N	P	K
1	Marzo- Abril	90	70	00
2	Junio -Julio	90	70	90
3	Septiembre-Octubre	90	00	90

Nota: Las cantidades indicadas en el Tabla 2 se obtienen con las siguientes cantidades

- (1) Se obtiene con 196 kg de urea en cada aplicación.
- (2) Se obtiene con 305 kg de superfosfato de calcio triple.
- (3) Se obtiene con 180 kg de nitrato de potasio en cada aplicación.

Fuente: INIFAP, Huasteca Hidalguense.

Un ejemplo más de paquete tecnológico se presenta para el estado de Chiapas (Tabla 3).

Tabla 3. Paquete tecnológico de fertilización en Café; Estado de Chiapas (INIFAP, 2018)

Fase	Fuente fertilizante	Cantidad
Preproductiva	17-17-17	100-150 grs / 'planta Dos aplicaciones
Productiva	17-17-17	250 grs /planta Dos aplicaciones

Fuente: Agenda técnica agrícola. INIFAP. Chiapas 2018.

Ejemplo de paquete tecnológico extranjero de República Dominicana (Tabla 4) (Manual de Producción Sostenible de café, 2019).

Tabla 4. Paquete tecnológico para café República Dominicana, 2019

Época	Dosis	Fertilizante	Alternativa
Plantación	1 onza/planta	17-17-17	16-20-00 (plants)
1er Año	3 aplic /1 onza/Pl	15-15-15	16-20-00
2° Año	3 aplic /onza/Pl	14-7-14	17-06-18
3 er Año	3 aplic/onza /pl	14-7-14	17-06-18
4° Año a 10° Año	3 aplic / 3 oz /pl	12-8-14	15-04-25

La primera después de la cosecha; la segunda después de la floración principal y la tercera antes de la cosecha, según la distribución de la lluvia en cada zona.

Rendimiento esperado de café por el uso de fertilizante inorgánico

El rendimiento esperado en un cafetal con el uso de la tecnología descrita puede ser de alrededor de 20 quintales por hectárea (2.0 ton/ha). Las variaciones pueden deberse a factores tales como la densidad de población de cafetos, manejo de la plantación y edad del cafetal entre otros.

En términos constantes, para obtener un quintal de Café Oro (último producto del beneficiado) se necesitan alrededor de 250 kilogramos de café cereza.

Generalidades de contaminación de agua y suelo por aplicación de fertilizantes

La única estimación global de la contaminación del suelo fue realizada en la década de los 90 por el Centro Internacional de Referencia e Información sobre Suelos (ISRIC por sus siglas en inglés) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) que estimaba que 22 millones de hectáreas estaban afectadas por contaminación del suelo (Oldeman, 1991).

Se ha identificado al exceso de *N* en los suelos como la causa principal de acidificación y salinización del suelo debido a la nitrificación y otros procesos de transformación de dicho elemento. En condiciones naturales, el suelo se acidifica muy lentamente, tomando de cientos a millones de años (Guo *et al.*, 2010), pero las prácticas agrícolas aceleran este proceso de manera considerable, sobre todo la fertilización excesiva con *N*, que reduce el pH del suelo en 0,26 unidades de pH en promedio en diferentes usos del suelo (Lucas *et al.*, 2011; Tian *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2014a).

La acidificación de los suelos y sistemas de agua dulce, se produce por la captación y asimilación del amonio por las raíces de las plantas, en el proceso de nitrificación y lixiviación del nitrato. Por último, la toxicidad directa se produce por el amoniaco y el dióxido de nitrógeno (ambos en estado gaseoso) (Savci, 2012).

Otro fertilizante fundamental es el fósforo, esencial para el desarrollo de las plantas y la producción de alimentos (Pradel *et al.*, 2019) El principal impacto al medio ambiente es la aceleración del proceso de eutrofización en los cuerpos de agua y conduce a la floración de cianobacterias, cuya causa principal es la sobre fertilización o la contaminación por desechos de la producción animal (Wang *et al.*, 2018).

Este problema de la contaminación para México, es señalado por Ruiz-Najera (2016) quien indica que La Frailesca de Chiapas se distingue por su capacidad productora de varios cultivos y también de Café, zona que ya presenta un acelerado proceso de deterioro en suelos, que a la larga puede traer consigo una disminución en la calidad de vida de los productores, al verse afectados sus ingresos, derivado de los procesos de degradación del agroecosistema café, que provoca cambios en el régimen hídrico de la región; y de la acentuación del cambio climático, factores determinantes en los últimos años, que han causado una merma en su producción.

En el Estado de México la contaminación por plaguicidas ha sido no muy clara respecto a sus informes sanitarios presentados por dependencias oficiales estatales y nacionales, por ejemplo, la región florícola de Villa Guerrero presenta casos de deformaciones en nacimientos atribuidos a personal que ha trabajado en invernaderos con altas aplicaciones de pesticidas.

Ante el anterior panorama general de contaminación de suelos y aguas es que se propone estudiar las aplicaciones de nutrientes en forma orgánica, los cuales son menos o casi nulos en la contaminación y su aprovechamiento por las plantas ha sido históricamente favorable al medio ambiente y de características sustentables. Por lo que la siguiente sección presenta el aspecto orgánico de los principales nutrientes y, además, algunos paquetes tecnológicos que ya han sido generados por instituciones oficiales y privadas.

Fertilización orgánica

Las fuentes de nutrientes para la fertilización orgánica se caracterizan por tener fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, fierro, manganeso, boro, zinc y molibdeno en concentraciones bajas comparados con los fertilizantes convencionales.

Actualmente otras técnicas que generan nutrientes orgánicos son las lombricompostas y los abonos preparados con residuos diversos, el contenido de nutrientes en estos productos es más bajo que los nutrientes de productos inorgánicos industriales

Algunas fuentes de N, P y K

Pescado Hidrolizado, sangre de rastro, guano de aves marinas, nitrato de sodio, gallinaza, estiércol de Bovino, sulfato de calcio, Lombricompost o Vermicompost (sólida y líquida también denominados Humus), biofertilizantes de melaza, paja y compost de basura orgánica.

Estos productos ya han sido medidos en sus contenidos de *N*, *P*, *K*, así como de micronutrientes (Tabla 5). Existen en la actualidad muchas empresas que ya los comercializan, en volúmenes de producción necesarios, pero la demanda de los cultivos es baja.

Tabla 5. Componente nutricional de Vermicompost líquido y sólido 2020

Nutriente	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	Mo	pH	cE
Unidad	Mg kg												
V. sólido	63	46	31	207	24	41	53	9,16	46	40	58	7,4	2,21
V líquido	65	52	45	249	35	44	55	8,17	48	46	61	7,5	2,34

Fuente: Empresa Xibani. Toluca. Méx. 2021.

La Lombricultura en la producción agrícola, comenzó a desarrollarse a principios de la década de los 80's en México, con la finalidad de incrementar la calidad de muchos suelos agrícolas o recuperar zonas degradadas, ésta también disminuye la contaminación de las aguas que provocan los vertidos indiscriminados de materia orgánica (Bustamante, 2016).

No existen estimaciones de cuanto es el volumen de producción nacional de Humus de Lombriz, solo ligeras aproximaciones.

Paquete tecnológico orgánico para el cultivo de café (de la empresa particular: Green Corp EU 2021).

- 1ª Aplicación Prefloración. Dosis/ha: Aplicar 1 L de Organiflush uno, más 2 L de Organiflor dos, vía foliar. Esta aplicación deberá iniciarse una vez terminada la poda para el arranque y prefloración de la planta.
- 2ª. Aplicación en amarre de flor y cuaje de frutos. Dosis/ha: Aplicar 4 L de Organigrow tres más 2 L de Organiflor dos, vía foliar. Esta aplicación deberá iniciarse entre los 60 y 90 días después de la plena floración para el crecimiento ideal del fruto.

La primera después de la cosecha; la segunda después de la floración principal y la tercera antes de la cosecha, según la distribución de la lluvia en cada zona.

Conclusiones

La fertilización inorgánica de café en el sur del Estado de México se ha reducido por el alto precio de los fertilizantes inorgánicos y, por otra parte, el incremento de productos orgánicos en el mercado de la fertilización.

Los problemas de contaminación en suelo y mantos freáticos por uso excesivo de fertilizantes inorgánicos, propicia que la fertilización orgánica sea más importante para el cultivo de café en el sur del Estado de México.

Los paquetes tecnológicos orgánicos propuestos presentan ventajas por su efecto poco contaminante al medio ambiente; y regresan nutrientes que pueden ser absorbidos por la planta de café de manera más eficiente, mejora y mantiene el nivel de la flora microbiana y de textura de muchos suelos.

La aplicación de tecnología orgánica le da un valor agregado al café, los mercados nacionales e internacionales, pagan sobreprecios que favorecen al productor orgánico de café.

Fuentes consultadas

- Adler, Carmona, G. Y Bojalil, J.A., (2018). Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos. México DF. Internacional Resources.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile | Asesoría Ulibarry, G.P. (2021). Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes. Técnica Parlamentaria. Pp 2-5.
- Bragazza, L., Freeman, C., Jones, T., Rydin, H., Limpens, J., Fenner, N., Ellis, T., Gerdol, R., Hajek, M., Hajek, T., Iacumin, P., Kutnar, L., Tahvanainen, T. Y Toberman, H. (2006). Atmospheric nitrogen deposition promotes carbon loss from peat bogs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(51): 19386–19389. <https://doi.org/10.1073/pnas.0606629108>
- Brevik, E.C. (2013). Soils and human health: An overview. In E.C. Brevik y L.C. Burgess, eds. *Soils and human health*, pp. 29–58.
- Bustamante, L. (2016). La lombricultura como alternativa en la producción agrícola utilizando la lombriz roja californiana [Tesis]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila-México. 55 p
- Chávez, V. (1999). Manejo de la Fertilización en Café. Conferencia 76. XI Congreso Nacional Agronómico. III Congreso Nacional de Suelos. pp163_173
- Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N. y Smith, V.H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3): 559–568. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:NPOSWW\]2.0.CO](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO)
- Cinecafe. (2017). Síntomas visuales de deficiencias en el cultivo de café.
- Colina, N. *et al.* (2017). Microorganismos fijadores de Nitrógeno y su acción complementaria a la fertilización química en el cultivo de *coffea arabica* L. *European Scientific Journal*
- Financiero (2021). Edomex pone en marcha estrategia para impulsar producción y venta de café. *Economía*. Recuperado de: <https://www.elfinanciero.com.mx/nacional/edomex-pone-en-marcha-estrategia-para-impulsar-produccion-y-venta-de-cafe/>
- FAO (2018). El consumo de fertilizantes supera los 200 millones de toneladas para 2018. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación

- y la Agricultura (FAO). Recuperado de: <https://www.hortoinfo.es/index.php/noticia/4294-prod-mund-pepino-131114>
- FAO (2021). Cultivos y productos agrícolas: café. 2021. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL.02/02/2023>
- Frumin, G.T. y Gildeeva, I.M. (2014). Eutrophication of water bodies — A global environmental problem. *Russian Journal of General Chemistry*, 84(13): 2483–2488. <https://doi.org/10.1134/S107036321413001>
- Grren Corp. (2021). Producto para los cultivos: Café. Recuperado de <https://greencorp.mx/productos>
- González, R.FJ., *et al.* El proceso de comercialización del café en el sur del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. INIFAP. Volumen 6. Número 5.
- Guo, J.H., Liu, X.J., Zhang, Y., Shen, J.L., Han, W.X., Zhang, W.F., Christie, P., Goulding, K.W.T., Vitousek, P.M. y Zhang, F.S. (2010). Significant Acidification in Major Chinese Croplands. *Science*, 327(5968): 1008–1010. <https://doi.org/10.1126/science.1182570>
- Han, J., Shi, J., Zeng, L., Xu, J. Y Wu, L. (2015). Effects of nitrogen fertilization on the acidity and salinity of greenhouse soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4): 2976– 2986. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3542-z>
- Herrera, S. J. (1997). Capítulo 7. Suelo Nutrición y Fertilización. Instituto Hondureño del café. Recuperado de [file:///C:/Users/Windows%2010/Downloads/Tec%20Guia%20Suelo_nutricion%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Windows%2010/Downloads/Tec%20Guia%20Suelo_nutricion%20(3).pdf)
- INIFAP (2013). Paquete tecnológico para el cultivo de café sierra huasteca potosina, SAGARPA. Centro de Investigación Regional Noroeste- Dirección de coordinación y vinculación estatal en San Luis Potosí.
- INIFAP (2018). Guía técnica para los cultivos de Chiapas. Café. Agenda técnica agrícola. INIFAP. Chiapas (2018). Centro de Investigación Regional Pacífico Sur, CIRPAC.pp.208
- Lucas, R.W., Klaminder, J., Futter, M.N., Bishop, K.H., Egnell, G., Laudon, H. Y Högberg, P. (2011). A meta-analysis of the effects of nitrogen additions on base cations: Implications for plants, soils, and streams. *Forest Ecology and Management*, 262(2): 95–104.
- Luo, L., Meng, H., Wu, R. Y Gu, J.-D. (2017). Impact of nitrogen pollution/deposition on extracellular enzyme activity, microbial abundance and carbon storage in coastal mangrove sediment. *Chemosphere*, 177: 275–283. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.027>

- Medina, R., (2021). Importancia del nitrógeno para el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de café (*Coffea spp.*) en Ecuador. Universidad Técnica Babahoyo, Facultad de Ciencias Agrícolas. Ecuador.
- Montero Blanco, D. (2017). Manual de Buenas Prácticas de Manejo en la Fertilización Nitrogenada del Café (en línea, sitio web). Consultado 19 abr. 2021. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/AV-1419.pdf>.
- Mogollón, J. P., Garcís-Miragaya, J., Y Sánchez, L.F. (2017). Noitrógeno potencialmente disponible en suelos cafetaleros bajo diferentes árboles de sombra. *Afgronomka Tropical*. 47. 87-102
- Mungia, H. R., Hagger, J., y Silvio Ponce, A. (2018). Cambios en la fertilidad del suelo producción de biomasa y balance de nitrógeno en sistemas agropastoriles con café en Nicaragua. *La Calera* 10 (14) pp. 5.12
- Oldeman, L.R. (1991). World map on status of human-induced soil degradation. Nairobi, Kenya: Wageningen, Netherlands, UNEP; ISRIC.
- Palomares, González y Mireles. (2019). Investigación: Café Orgánico en México. Universidad Nacional Autónoma de México. Infocafe. Recuperado de: <https://investigacion-2257-2012-2.wikispaces.com/file/view/cafe+organico+terminado.pdf>
- Pradel, M., y Aissani, L. (2019). Environmental impacts of phosphorus recovery from a “product” Life Cycle Assessment perspective: Allocating burdens of wastewater treatment in the production of sludge-based phosphate fertilizers. *Science of the Total Environment*, 656, 55-6.
- Pretty, J.N., Mason, C.F., Nedwell, D.B., Hine, R.E., Leaf, S. Y Dils, R. (2003). Environmental Costs of Freshwater Eutrophication in England and Wales. *Environmental Science y Technology*, 37(2): 201–208. <https://doi.org/10.1021/es020793>
- Ruiz, N, R.E-, *et al.*, (2016). Estudio del sistema de café (*Coffea arábica L.*) en la región Fraiñesca Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas, campus V, carretera Ocozocoautla CienciaUAT vol.10 no.2 Ciudad Victoria ene./jun
- SAGARPA (2021). México Onceavo productor de Café en el Mundo. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Blog. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe?idiom=es.12/02/2021>
- Suarez Roso, M. (2016). Suarez Roso, M. 2016. Monografía sobre fertilización del cultivo de café, en línea, sitio Consultado 20 abr. 2021. Disponible en <https://www.slideshare.net/RocioSuarez4/monografia-sobre-fertilizacion-delcultivo-de-cafe>.

- Savci, S. (2012). Investigation of effect of chemical fertilizers on environment. *Apcbee Procedia*, 1, 287-292
- Sadeghian, S. (2008). Fertilikdad del suelo y nutricion del café en Colombia. *Guia Práctica. Boletín Técnico. No 32. Cenicafe Col.*
- Shen, W., Lin, X., Shi, W., Min, J., Gao, N., Zhang, H., Yin, R. Y He, X. (2010). Higher rates of nitrogen fertilization decrease soil enzyme activities, microbial functional diversity and nitrification capacity in a Chinese poly-tunnel vegetable land. *Plant and Soil*, 337(1-2): 137-150. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0511-2>
- Teixiera, M. (2021). La cosecha de Brasil crecerá solo modestamente 2023(2024: Taka Insight, Consultado en: <https://es.euronews.com/2022/06/brasil.cafe.cosecha>
- Tian, W., Wang, L., Li, Y., Zhuang, K., Li, G., Zhang, J., Xiao, X. Y Xi, Y. (2015). Responses of microbial activity, abundance, and community in wheat soil after three years of heavy fertilization with manure-based compost and inorganic nitrogen. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 213: 219-227. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.009>
- Torrent, J., Barberis, E., Y Gil-Sotres, F. (2007). Agriculture as a source of phosphorus for eutrophication in southern Europe. *Soil Use and Management*, 23(s1): 25-35. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00122.x>
- Wang, Z., Zhang, T. Q., Tan, C. S., Vadas, P., Qi, Z. M., y Wellen, C. (2018). Modeling phosphorus losses from soils amended with cattle manures and chemical fertilizers. *Science of the Total Environment*, 639, 580-587.
- Yara (2020). Resumen nutricional | Yara Ecuador (en línea, sitio web). Consultado 19 abr. 2021). Disponible en <https://www.yara.com.ec/nutricionvegetal/cafe/resumen-nutricional/>.
- Yaron, B., Dror, I. Y Berkowitz, B. (2012). *Soil-Subsurface Change*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. (also available at <http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-24387-5>)
- Zhang, H., Luo, Y., Wu, L., Huang, Y. Y Christie, P. (2015a). Residues and potential ecological risks of veterinary antibiotics in manures and composts associated with protected vegetable farming. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(8): 5908-5918. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3731-9>
- Zhao, Y., Yan, Z., Qin, J. Y Xiao, Z. (2014b). Effects of long-term cattle manure application on soil properties and soil heavy metals in corn seed production in Northwest China. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(12): 7586-7595. <https://doi.org/10.1007/s11356014--8>

El arte del tostado y su relación con la calidad en el café (*Coffea arabica* L) del Estado de México

Omar Roberto Vargas Flores¹

Martín Rubí Arriaga²

María Dolores Mariezcurrena Berasain²

José Francisco Ramírez Dávila²

Guillermo Asdrúbal Vargas Elías³

Introducción

El café *Coffea sp.* crece como arbusto bajo el entramado de las selvas tropicales. En México es el género más importante de la familia de las rubiáceas y está integrado por numerosas especies, pero solo dos son de importancia económica: *Coffea Arabica* L., conocida como café arábigo, y *Coffea canephora* P., llamada café robusta. Un porcentaje muy pequeño corresponde a otras especies de café (Duicela *et al.*, 2018).

De acuerdo a la NORMA Oficial Mexicana NOM-169-SCFI-2007 un café de altura es aquel que se encuentra a partir de los 1000 msnm, esta tiene un impacto fundamental en el tamaño, sabor y densidad (dureza) del grano.

Además de ser una de las bebidas más consumidas y populares en el mundo, el café tiene propiedades nutraceuticas, ya que contiene biomoléculas o metabolitos secundarios que coadyuvan con la salud. En especial contiene cafeína, que es un estimulante tanto para el cerebro como para el sistema nervioso, hace a las personas más astutas, con energía y también ayuda al cuerpo a eliminar líquidos (Medline plus, 2021)

¹ Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo", El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: ovargasf002@alumno.uaemex.mx

² Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo", El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: mrubia@uaemex.mx; jframirez@uaemex.mx; mdmariezcurrenab@uaemex.mx

³ Profesor-Investigador en el Centro para investigación en granos y semillas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. guillermovargaselias@ucr.ac.cr

Una vez realizadas las labores anuales de campo del café y ya en estado de madurez corresponde cosechar y beneficiar el mismo, este último paso consiste en seleccionar los granos de calidad, secar, mortear, clasificar, tostar, moler y vender. Todas las fases mencionadas realizadas de manera adecuada generan un café excepcional. Sin embargo, lo antes dicho y sin demeritar ninguna de ellas es de interés para el presente capítulo profundizar en el tema de tostado, ya que este proceso se ha convertido en una práctica fundamental para mejorar la calidad y con ello la comercialización del producto referido.

Tostar café es el arte de cambiar las propiedades fisicoquímicas del grano crudo, es decir, cuando cambia la tonalidad de verde a café, para que se pueda beber, lo que ocurre después de moler. Por lo que el presente capítulo presenta información detallada del impacto del tueste del grano sobre la calidad del café.

El café en el Estado de México

La excelente calidad del café del municipio de Temascaltepec asombró en el año 2018, cuando se obtuvo el segundo lugar en el Certamen Taza de Excelencia (concurso y premio más prestigiosos para cafés de alta calidad en México) y segundo lugar presidencial para la finca (premio más prestigioso para fincas de café de alta calidad), con una puntuación de 90.47 sobre 100, y en 2019 el Estado de México obtuvo el tercer y cuarto lugar con calificaciones de 90.19 y 90.13, del producto proveniente de las fincas La “Teja” en Almoloya de Alquisiras y “La Ilusión” en Temascaltepec respectivamente.

Hablando de cuestiones económicas, la Organización Internacional del café (OIC) en junio de 2021, indicó, que el promedio mensual del precio del café fue de 141.03 centavos de dólar EE UU por libra, lo que representa un aumento del 33,2% con respecto a los 105.85 centavos de octubre de 2020. Este fue también el promedio mensual más alto desde el de 145.82 centavos de noviembre de 2016. Adicional a esto, en junio se registró también un crecimiento de la actividad del sector especulativo no comercial, lo que apoyó también a la tendencia al alza de los precios (OIC, 2022).

Desde 2012, en México, se ha llevado a cabo el Certamen Taza de Excelencia (Cup of Excellence), mismo que tiene como socio internacional a Alliance for Coffee Excellence (ACE) y como socio local a la Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café (AMECAFÉ A.C.), ambas han permitido que México pueda aprovechar la tendencia

de satisfacer nichos de mercado nacional e internacional, que buscan café de especialidad mexicano de la más alta calidad y que permite a su vez premiar a sus cafecultores. A su vez, identifica a los principales importadores y tostadores internacionales de café de especialidad con sus subastas electrónicas (Taza de Excelencia, 2022).

La importancia de contar con un café de especialidad internacional con estándares de calidad definidos radica en que puede ser pagado hasta diez veces más que un café artesanal, lo que convendría económicamente a los productores del Estado de México.

Derivado de constantes recorridos de campo y entrevistas con productores de café en el Estado de México y en particularmente en Temascaltepec, se sabe ya, que están buscando alternativas sobre las nuevas tendencias de consumo que retribuyan económicamente el precio del producto. Aunado a que conocen también, que la venta de café de especialidad les permite enfocarse a un mercado altamente exigente en cuanto a la cadena de beneficio.

Un punto crítico para obtener un café de especialidad se encuentra en la cosecha, para el municipio de Temascaltepec empieza a finales de febrero y termina en mayo, derivado de la poca producción de la zona y de la necesidad de obtener un café diferenciado esta labor se hace manual y de forma selectiva (solo se cosechan los frutos maduros (rojos)).

Cosecha del café y clasificación

Cabe resaltar que, para cosechar un grano de café de alta calidad, éste debe contar con la mayor cantidad de azúcares en la cereza, con la finalidad de obtener un mejor sabor en taza. Este análisis puede realizarse en campo con un refractómetro manual así lo hace el productor Federico Barrueta dueño de la Finca “La Ilusión” en Temascaltepec en el Estado de México.

Una vez cosechado el café, éste debe ser sometido a una serie de pasos que permitirán al final obtener sus mejores propiedades con lo que se logrará tener un café de especialidad.

Por lo dicho, antes de describir los pasos mencionados, se sugiere definir lo que implica un café de especialidad, y que de acuerdo a la SCA (Specialty Coffee Association), debería ser un producto sin granos defectuosos, sabor especial y cuidado minucioso en la cadena de valor (desde la siembra por el productor hasta la obtención por un barista), entre otras cosas. A continuación, en el Cuadro 1, se mencionan las dos

categorías sobre características físicas que en un café de especialidad se deberían evitar y que son conocidos como defectos.

Cuadro 1. Defectos en los granos de café de especialidad

	Rango
<p>Categoría 1</p> <p>Grano negro, grano agrio o vinagre, cereza seca, hongos, materia extraña y granos con brocados severos</p>	Ausencia total de defectos
<p>Categoría 2</p> <p>Granos de café partidos, inmaduros, arrugados, que floten, con conchas, con pergamino, con cáscara o pulpa, cristalizados, decolorados o veteados, aplastados, o esponjosos.</p>	Se permiten máximo 5* defectos

Fuente: Elaboración propia con datos de la SCA; 2019.

Para entender con claridad algunos de los términos utilizados en el mundo del café se tomará la clasificación de café verde de la Asociación de Cafés Especiales (SCA) misma que se describe a continuación. (SCA, 2019).

La clasificación, inicia con un proceso preliminar, que consiste en tomar 100 g de café debidamente descascarillado utilizando las zarandas 14, 15, 16, 17 y 18. Al pasar por las zarandas, se pesa el café que queda arriba o que no paso por cada zaranda y se registra el porcentaje. Luego, los granos de café que si pasaron por las zarandas deben beneficiarse, tostarse, preparar la taza de café y catarse para evaluar las características de la taza.

Una vez sometidos los granos de café a este proceso preliminar (clasificación por zarandas) y de acuerdo al Cuadro 1, los granos pueden clasificarse como se indica a continuación:

1. Grado de especialidad (1): No más de cinco defectos completos en 300 g de café. No se permiten defectos primarios (Cuadro 1). Se tolera un máximo del 5% por encima o por debajo del tamaño de zaranda indicado. Debe poseer al menos un atributo distintivo en el cuerpo, sabor, aroma o acidez. Debe estar libre de defectos y manchas. El contenido de humedad está entre 9-13%.
2. Grado Premium (2): No más de ocho defectos completos en 300 g. Se permiten defectos primarios. Se tolera un máximo del 5% por encima o por debajo del tamaño de pantalla indicado. Debe poseer

al menos un atributo distintivo en el cuerpo, sabor, aroma o acidez. El contenido de humedad está entre 9-13%.

3. Grado de intercambio (3): Se permiten de nueve a 23 defectos totales en 300 g. Debe tener un 50% en peso por encima del tamaño de zaranda 15 con no más del 5% del tamaño de pantalla por debajo de 14. El contenido de humedad está entre 9-13%.
4. Por debajo del grado estándar (4): De 24 a 86 defectos en 300 g.
5. Fuera de Grado (5): Más de 86 defectos en 300 g.

Los defectos de la categoría 2 restan la calidad del café, mismos que se deben principalmente a deficiencias nutricionales, falta de agua, cosecha tardía, enfermedades u hongos, entre otras cosas.

Como ya se ha dicho, una vez que el grano ha sido clasificado y antes de tostarse, éste debe ser sometido a un proceso de beneficio, mismo que se describirá paso a paso.

Beneficio del café

De acuerdo a las necesidades del consumidor, cada productor podría elegir una de tres formas de beneficiar el café, húmeda, semi húmeda y seca. Pese a lo anterior, para todos los casos a diferencia de otros productos agrícolas el café debe ser transformado en campo o *in situ* para su posterior comercialización. Por la vía húmeda o semi húmeda se obtiene el “café pergamino”, y por vía seca “café oro” (Montero *et al.*, 2009). La vía húmeda, que genera el café lavado, es el más costoso y complejo, ya que conserva mejor todas sus propiedades, por tal razón son los cafés más caros o mejor pagados. Pese a ello, todo proceso trae como consecuencia la generación de residuos, en este caso en particular, la pulpa y aguas mieles podrían ocasionar contaminación en el ambiente (FAO, 2022).

A continuación de acuerdo a la clasificación de Hardy (2016) se describirán las características de cada uno de ellos:

1. Café beneficiado por vía húmeda: Cereza (grano) que se despulpa, fermenta y desmucilagina, se lava y se seca. Con este beneficio se obtienen características medias de acidez, dulzura y cuerpo.
2. Café beneficiado por vía semihúmeda: Cereza que se despulpa, fermenta, se lava y se seca. También conocido como Honey. Con este beneficio se genera una taza completa y potente, por los ácidos generados en el mucilago.

3. Café beneficiado por vía seca. Cereza que se seca y las características que genera en taza son dulce, acidez baja y cuerpo ligero.

Una vez beneficiado el café por cualquiera de las tres vías, se somete al proceso de tostado, mismo que se describe en seguida.

Tostado o torrefacción de café

Los granos de café verde tienen sabor y aroma herbal, siendo necesario su procesamiento térmico por tostión para hacerlo apto para el consumo y liberar su aroma y sabor por medio de sustancias químicas como la cafeína, la trigonelina, los ácidos clorogénicos, el ácido cítrico, el ácido acético y el ácido fórmico (De Luca *et al.*, 2016; Nguyen y Byun, 2013). Para obtener tostados uniformes se debe partir de un grano cosechado de buena calidad, con humedad uniforme cercana al 12%, tamaño uniforme (mediante el uso de una criba), color verdoso/amarillo (dependiendo del beneficio) y brillante, característico de un café fresco (FNCC, 2022). El proceso de tostado inicia con la preparación de la cereza, que consiste en el pelado del grano (desprendimiento del pergamino), limpieza de impurezas y clasificación por tamaño, densidad y color, para finalmente ser empacado para exportación o para iniciar el proceso de torrefacción (tostado) (ICAFE, 2022).

El proceso de tostado de café se produce cuando se introducen los granos verdes de café (de acuerdo al beneficio al cual fueron sometidos) en tostadores con temperaturas entre 180 °C y 240 °C con tiempos de ocho a 15 min dependiendo de la densidad, variedad y humedad, principalmente, y por supuesto del grado de tostado al que se quiera llevar (ICO, 2022). Este proceso consiste en la aplicación de calor a los granos de café crudos. Sin embargo, la temperatura que deberá ser controlada para que al llegar a la finalización del proceso se liberen los aromas característicos y se desarrolle una coloración homogénea y adecuada de los granos (Illy y Viani, 2005).

Clarke y Macrae (1987), indican que durante la torrefacción ocurren cambios físicos y químicos en el grano de café verde. Hay una pérdida de materia seca, la cual se da principalmente por las transformaciones en dióxido de carbono y agua (agua de constitución) y los productos volátiles de la pirólisis.

El proceso de tostado se compone en una transferencia de calor y masa combinados superpuestos a reacciones endotérmicas y exotérmicas. Como consecuencia de la aplicación de calor, se generan campos diferenciales de temperatura, variaciones en las presiones internas y

re-distribución de la humedad dependiente del tiempo y posición (Illy y Viani, 2005).

El proceso de torrefacción pasa por cinco etapas que deben ser respetadas en sus tiempos y temperaturas, mismas que se describen a continuación.

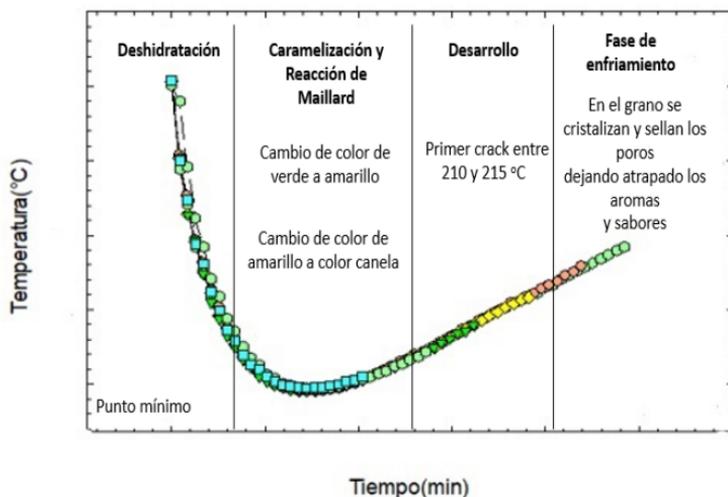
Etapas del tostado:

1. Deshidratación: comienza cuando se vacía el grano verde de café al tostador, la temperatura del tostador desciende a un punto mínimo de temperatura, al final de esta etapa las temperaturas serán similares.
2. Caramelización y Maillard: inicia con un cambio de coloración del grano, que va de verde a amarillo, durante esta etapa se da la caramelización y la reacción de Maillard.
3. Desarrollo: Se da un cambio de color amarillo a canela, en esta etapa se da el primer *crack* (expansión del grano y evaporación de la humedad del mismo, lo que genera alta presión interna y el inicio de la formación de aromas característicos además de esto se da una ruptura, rompimiento y fisura en el grano) que se da en un rango entre los 210 y 215 °C. En este punto del proceso tueste se elige si será claro, medio u oscuro.
4. Enfriamiento: Teniendo el termino de tueste elegido, se procede a enfriar los granos de café y así evitar que se sigan tostando, esta etapa dura entre tres y cinco minutos, termina con el café a temperatura ambiente.
5. Desgasificación: La fundición de los compuestos de azúcar (fructosa 103 °C; la glucosa 146-150 °C y sacarosa 186 °C). Esta última etapa requiere de al menos 24 h luego del tostado para que el café libere el CO₂, no se recomienda empaquetar el café inmediatamente ya que dañaría el empaque.

Según Clarke y Macrae (1987), un café de alta calidad está asociado a la temperatura y velocidad de tueste, características que desarrollan el sabor y el aroma.

Las etapas antes descritas se presentan de manera más explícita en la Gráfica 1, que presenta lo que se conoce como curva de tostado.

Gráfica 1. Curva general de tostado de café



En la Gráfica 1 se ve claramente los primeros cuatro pasos de la trefacción, muy importantes todos, sin embargo, es trascendental profundizar en algunos puntos que se discutirán a continuación. En el paso número dos se introduce el término caramelización y reacción de Maillard, que a continuación se detallan:

Reacción de Maillard

Los pigmentos melanoides que se forman como resultado de la reacción entre el carbohidrato glucosa y el aminoácido glicina produciendo anhídrido carbónico fue lo que publicó en 1912 Louis-Camille Maillard es lo que en la actualidad se conoce como reacción de Maillard (Maillard, 1912a, 1912b). Se ha visto que el contenido de polifenoles se incrementa en la reacción de Maillard (Chung *et al.*, 2011).

En especial en procesos tradicionales como la tostión de café y cocoa, productos horneados de panadería y carnes, concentración de productos lácteos y manufactura de derivados céreos, la reacción de Maillard ha desempeñado un rol fundamental en el estudio de las características fisicoquímicas y sensoriales de los alimentos (Shen *et al.*, 2018; Diaz y Clotet, 1995; Quintas *et al.*, 2007). A pesar de lo dicho, se puede promover la formación de compuestos tóxicos indeseables, como la acrilamida en caso de no garantizarse un correcto control de las condiciones de

pH, tiempo y temperatura en el procesamiento de alimentos proteicos, en especial el aminoácido L-asparagina (Jaeger *et al.*, 2010; Van Boekel, 2006).

Caramelización

La caramelización (o pirólisis), sucede cuando se alcanza el punto de fusión de un carbohidrato sencillo (mono o disacárido) o cuando se calienta éste en presencia de un catalizador y en ausencia de grupo amino, lo que conduce a la formación de compuestos de color pardo con aroma típico a caramelo, mediante un proceso de cocción controlado (Ege, 2004; Quintas *et al.*, 2007) (Kamuf *et al.*, 2003; Vollmuth *et al.*, 2018). Este fenómeno requiere temperaturas superiores a 120 °C y pH ácido (inferior a 3) o alcalino (superiores a 9), y se acelera con la adición de ácidos carboxílicos y algunas sales, sin la intervención de proteínas, aminoácidos ni otros compuestos con grupo amino (Gil, 2010). Se presenta en alimentos tratados térmicamente de manera drástica, tales como derivados de panificación, frituras, dulces a base de leche y tostados, entre otros (Badui, 2006; Berg y Van Boekel, 1994), para producir compuestos aromáticos del tipo furanonas, ciclopentenolona, ciclohexenolona, lactonas, pironas, ésteres y pirazinas (Quintas *et al.*, 2007). El sabor así producido genera cambios desde leve, caramelo propio y dulce, hasta amargo y quemado. En relación al color, el tiempo, la temperatura y el tipo de carbohidrato logran tonos desde amarillo a marrón. La reacción causa la liberación de H⁺, promoviendo la conformación de un medio ácido (Kroh, 1994; Kocadağlı y Gökmen, 2018).

Finalmente, un vehículo que permite que todas las reacciones y procesos ocurran es el agua, en particular para este caso la conocida como actividad de agua, misma que se relata en seguida

Actividad de agua (aw)

Se define como la capacidad de agua que tiene un alimento, con el agua disponible o no ligada al soluto, el tiempo de la vida de un alimento se determina por la cantidad de agua que posee, este entre más agua tenga favorecerá el crecimiento de microorganismos y reducirá el tiempo de vida de anaquel. En la industria alimentaria determina el tiempo y que tipo de conservación llevará. El rango es entre 0 y 1, y cuanto más se aleja de 1 (valor para el agua pura), más difícil es la actividad microbiana y se podría prolongar su vida útil (Cardona, 2019).

Como ya se indicó se producen diferentes sustancias benéficas para el ser humano derivado de un buen tostado a continuación se describirán las más importantes.

El proceso de tostado que se lleva a cabo en Temascaltepec y en la mayoría de la zona se hace sin el conocimiento de las reacciones fisicoquímicas que ocurren en el grano dentro de la tostadora por lo que es frecuente encontrar tuestes que no son uniformes (debido a que no se hace una cosecha selectiva del café), sobre cargar o cargar muy poco la tostadora (tostar una cantidad de café mayor a la que tiene la capacidad la tostadora da como resultado un mal tostado) no llevan control en los defectos de café (por lo que esos defectos desatan sabores indeseados en el lote tostado de café) se debe dar mantenimiento a los equipos y revisar las salidas de gas, ya que con fugas de gas el tueste se tarda mucho en llegar al tueste deseado, al hacer los tuestes deben tener un protocolo de catación para saber que el trabajo de tostado fue bien hecho, otro error es creer que un tipo de tostado se puede aplicar en todas las variedades de café, debido a que hay diferencias en densidad. Para el caso de la finca “La ilusión” el tostado lo hacen personas ya entrenadas en este rubro y han llegado a detectar que el café tiene notas a cítricos y frutos de hueso. Encontramos notas a flores blancas y algunas hierbas aromáticas, las cuales se complementan con las notas dulces a mieles y caña de azúcar (Exploradores de café).

Para el caso que nos ocupa es preciso señalar que el café posee alta cantidad de compuestos polifenólicos. Es importante considerar que su presencia en este cultivo depende de ciertos factores, tal es el caso de la especie, donde arábica contiene más polifenoles que robusta, así también el beneficio húmedo proporciona mayor cantidad que el beneficio seco y de igual forma, la frescura, juega un papel importante en la obtención de estos polifenoles, debido a que con granos frescos se obtienen más que con granos viejos. Y para finalizar no podemos olvidar el grado de tostado, ya que un tostado medio produce una acidez más agradable y balanceada que un tostado oscuro (Puerta, 2011). Así pues, algunos de los más importantes polifenoles en el café de entre 33 ácidos son clorogénico, caféico, ferúlico, quínico, cítrico, acético, málico, fórmico, fosfórico, glicólico, láctico, cumárico (Chaves-Ulate y Esquivel-Rodríguez, 2019).

Conclusiones

El papel que ejerce el tostado sobre la calidad del café (aromas y sabores), hace imprescindible realizarlo correctamente. Para el Estado de México cobra particular relevancia, si se toma en cuenta que por las condiciones edafoclimáticas que combina la principal zona productora brinda granos de café de elevada calidad, por lo que si se fortalece el beneficio entre ello el tostado los resultados seguramente mejorarán.

Es indispensable promover la capacitación de los productores de café del Estado de México, además del manejo agronómico, en temas relacionados con el beneficio del grano en apartados como estandarizado del tostado por el impacto sobre la calidad.

Fuentes consultadas

- Badui Degral, S. (2006). Química de los alimentos. PEARSON EDUCACIÓN, (4):736.
- Berg, H. E. y M. A. Van Boekel (1994). Degradation of lactose during heating of milk. 1. Reaction pathways. Netherlands Milk and Dairy Journal. 48 (3):157-175.
- Cardona Serrate, F. (2019). "Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones" Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València, 7.
- Chaves-Ulate, E., y Esquivel-Rodríguez, P. (2019). Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante. Agronomía Mesoamericana, 30 (1):299-311.
- Chung, H. S., Chung, S. K., y Youn, K. S. (2011). Effects of roasting temperature and time on bulk density, soluble solids, browning index and phenolic compounds of corn kernels. Journal of Food Processing and Preservation, 35 (6):832-839.
- Clarke, R.J. y Macrae, R (1987). Coffee: Technology, Elsevier Applied Science. (2):321.
- De Luca, S., M. De Filippis, (2016). Characterization of the effects of different roasting conditions on coffee samples of different geographical origins by HPLC-DAD, NIR and chemometrics, Microchem. J., ISSN: 0026265X, 129, 348-361.
- Diaz, N. y Clotet, R. B. (1995). Cinética de la caramelización en soluciones azucaradas simples. Revista de tecnología e higiene de los alimentos. 259:35-38.

- Duicela Guambi, L.A.; Andrade Moreano, J. y Farfán Talledo, D.S. (2018). Calidad organoléptica, métodos de beneficio y cultivares de café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) en la amazonía del Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*.19(2):15.
- Ege, S. (2004). *Química orgánica: estructura y reactividad*. Editorial Reverté, 2(1):720.
- FAO. Análisis de Cadena de Valor del Café con enfoque de Seguridad Alimentaria y Nutricional. <http://www.fao.org/docrep/019/as545s/as545s.pdf>
- FNCC, Comportamiento de la industria Cafetera Colombiana, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia <https://federaciondecafeteros.org>
- Gil, A. (2010). *Tratado de nutrición: Nutrición humana en el estado de la salud*. Editorial Médica Panamericana. 2(3):820.
- Hardy, J. (2016). "Difusión de Resultados de Cafés Especiales". Impreso por Escripio M.P S.A.C.
- ICAFFE. Nuestro Café. <http://www.icafe.go.cr>
- ICO. About Coffee.<http://www.ico.org>
- Illy, A., Y Viani, R. (2005). *Espresso Coffee: The Science of quality*, Second edition, Elsevier Academic Press, 417.
- Jaeger, H. Janositz, A. Y Knorr D. (2010). The Maillard reaction and its control during food processing. The potential of emerging technologies. *Pathologie Biologie*. 58(3):207-213. doi: 10.1016/j.patbio.2009.09.016
- Kamuf, W. Nixon, A. Parker, O. Barnum, G.C. y Williamson, D. D. (2003). Overview of caramel colors. *Cereal foods world*. 48(2):64-69. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.11.048
- Kocadağlı, T. Y Gökmen, V. (2018). Caramelization in Foods: A Food Quality and Safety Perspective. Reference Module in Food Science. Estados Unidos: Elsevier, doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.21630-2
- Kroh, L. W. (1994). Caramelisation in food and beverages. *Food Chemistry*, vol. 51(4):373-379. doi: 10.1016/0308-8146(94)90188-0
- Maillard CL (1912a). Action des acides amines sur les sucres: formation des melanodines par voie methodique. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 154, 1554-1558.
- Maillard CL (1912b). Formation d'humus et de combustibles minéraux sans intervention de l'oxygene atmospherique, des microorganismes, des hautes temperaturas, ou des fortes pressions. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. 155, 1554-1558.

- Medline plus (2021). Biblioteca Nacional de medicina <https://medlineplus.gov/spanish/caffeine.html#:~:text=La%20cafe%C3%ADna%20tiene%20muchos%20efectos,sal%20extra%20al%20orinar%20m%C3%A1s>.
- Montero Mora, Andrea y José Aurelio Sandí. (2009). La contaminación de las aguas mieles en costa rica: un conflicto de contenido ambiental (1840- 1910), Diálogos Revista Electrónica de Historia. febrero-agosto 10(1):4-15.
- Nguyen, T.N.H. y S.Y. Byun. (2013). Combined changes of process conditions improved aromatic properties of Vietnamese Robusta, *Biotechnol. Bioprocess Eng.*, ISSN: 1226-8372, 18, 248-256.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-169-SCFI-2007 [http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SE/Normas/Oficiales/2007/26032007\(1\).pdf](http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SE/Normas/Oficiales/2007/26032007(1).pdf)
- Organización Internacional del Café (OIC) Informe del mercado de café. <https://www.ico.org>
- Puerta, G. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances técnicos. Cenicafé.* 2(12):12.
- Quintas, M. Brandao, T. Y Silva, C. L. M. (2007). Modelling colour changes during the caramelisation reaction. *Journal of Food Engineering.* 83(4):483-491, doi: 10.1016/j.jfood-eng.2007.03.036
- Shen, Y. Shen G., y Li, Y. (2018). Bread characteristics and antioxidant activities of Maillard reaction products of white pan bread containing various sugars. *LWT-Food Science and Technology.* 95:308-315. doi: 10.1016/j.lwt.2018.05.008
- Specialty Coffee Association (SCA) (2019). El café Arábica lavado Guía de defectos del café verde. Comité de estándares, Centro de investigación de la Specialty Coffee Association, 3:36.
- Taza de Excelencia. <https://www.tazadeexcelenciamexico.org/que-es-taza-de-excelencia/>.
- Van Boekel, M. A. (2006). Formation of flavour compounds in Maillard reaction. *Biotechnology advances.* 24(2):230-233. doi: 10.1016/j.biotechadv.2005.11.004
- Vollmuth, T. A. (2018). Caramel color safety-An update. *Food and Chemical Toxicology.* 111:578-596. doi: 10.1016/j.fct.2017.12.004

La práctica de la fermentación en el café como diferenciador de la calidad en taza

Lilian Montes de Oca Rosales¹
Martín Rubí Arriaga²
Dolores Mariezcurrena Berasain²
José Francisco Ramírez Dávila²

Introducción

En una economía como la actual, las necesidades de obtener productos que se adecuen a normas, exigencias y estándares de calidad son la base de la comercialización. En definitiva, la evaluación sensorial del café permite identificar los defectos presentes en la bebida, por lo que la calidad es el resultado de los procesos realizados al grano, así como del monitoreo y control de las condiciones durante los mismos, ya que influyen significativamente en su composición química (Dos Santos *et al.*, 2022; Gotteland y de Pablo, 2007).

Durante años, se ha dado valor agregado al café mediante beneficios basados en el tratamiento posterior a la cosecha, que pueden ser en seco o húmedo; éste último es el más utilizado porque origina cafés pelados y despulpados, debido a la remoción mecánica de la cascarilla y posterior remoción del mucílago por fermentación, el cual es determinante en la calidad del grano (Dos Santos *et al.*, 2022).

En el Estado de México esta práctica se ha trabajado en un bajo porcentaje, ya que la mayor parte de los productores se han dirigido hacia el café comercial (González *et al.*, 2019), llevando a cabo tareas que han venido de generación en generación sin implementar procesos que resalten en mayor medida los atributos del grano y aquellos que han

¹ Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo", El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: lmontesocar001@alumno.uaemex@hotmail.com

² Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo", El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: mrubia@uaemex.mx; jframirez@uaemex.mx; mdmariezcurrentab@uaemex.mx

incursionado en el café de especialidad realizan procedimientos que en ocasiones resultan en una taza de excelencia sin ser replicables, ya que no se llevan registros, seguimiento y/o control de parámetros, por el mismo desconocimiento y a que aún son procesos no estandarizados. Por lo que el presente capítulo se planteó para hacer del conocimiento de los cafecultores las generalidades del beneficio húmedo y tengan un panorama de lo que sucede durante el proceso de la fermentación.

Beneficio del café

En la literatura se encuentran muchas referencias, de fechas incluso anteriores al siglo XX, sobre métodos y condiciones de beneficio que han sido usados para desprender el mucílago del grano de café, en diferentes países cafetaleros de África, Asia y América.

La etapa de remoción del mucílago del café es crítica para la calidad del grano y de la bebida, ya que cualquier defecto que se ocasione por la falta de control, no se puede modificar en los procesos siguientes del beneficio, ni en la preparación de la bebida. Es así como debido a fermentaciones no vigiladas o monitoreadas, al dejar sumergidos los granos de café en los tanques de fermentación en medios ácidos obtenidos de la descomposición del mucílago y también en muchos casos de la misma pulpa de café, se pueden obtener granos con pergamino manchado, decoloración del grano y defectos en la bebida, como sabores y aromas desagradables (Peñuela *et al.*, 2010).

En el comercio, los cafés se clasifican según la especie (Arábica o Robusta) y según el tipo de beneficio húmedo o seco (Figura 1), que es el proceso conformado por un conjunto de operaciones para transformar el café cereza en café pergamino seco.

Tipos de beneficio

El beneficio del grano por la vía seca, consiste en el secado directo de los frutos de café en el árbol durante aproximadamente 15 – 20 días (bajo el sol o en secaderos). En el beneficio por la vía húmeda, después de realizar la recolección, selección por estados de madurez, flotado (retiro de impurezas), despulpado, el mucílago del fruto es separado mediante la fermentación y una vez que se ha desprendido del grano se concluye con el lavado, luego es secado para reducir la humedad hasta llegar entre el 10 y el 12% como norma de comercialización del café pergamino seco como se muestra en la Figura 2 (Puerta, 2010).

Figura 1. Beneficio húmedo (sumergido en agua a la izquierda y despulpado sin adición de agua a la derecha con registro de parámetros como pH y temperatura con pHmetro)

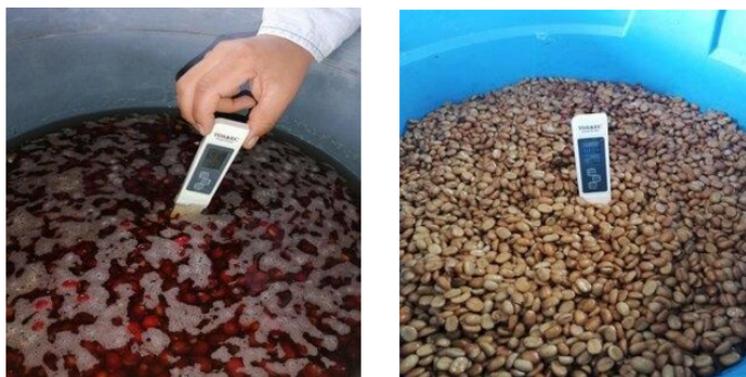
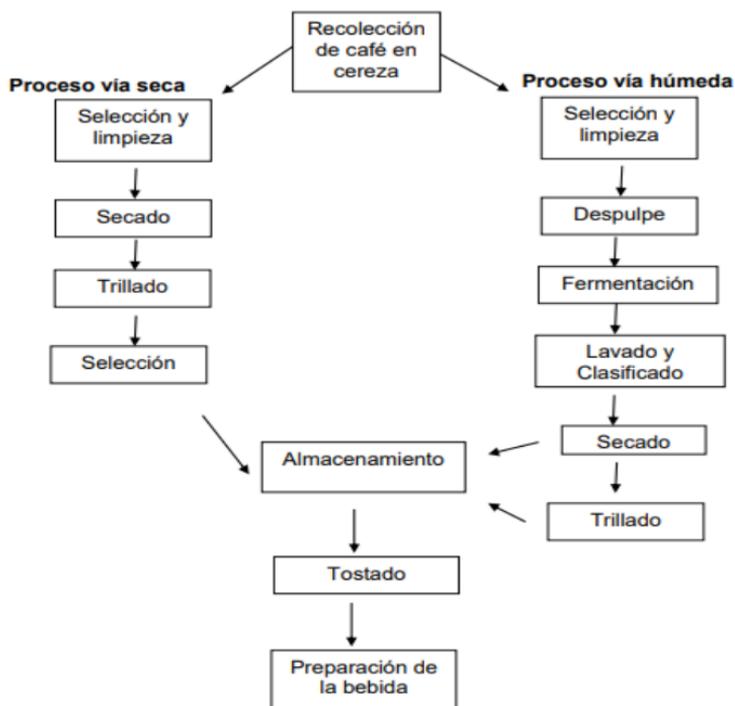


Figura 2. Procesos del beneficio hasta la preparación de la bebida (Sánchez y Olivares, 2019)



El mucílago, composición e importancia

En las diferentes regiones cafetaleras, cuyas épocas de floración, fructificación y maduración dependen de las condiciones climáticas, se pueden encontrar todos los estados de maduración del fruto al momento de la cosecha. Para lograr la mejor calidad de la bebida se recomienda efectuar cosecha selectiva (Figura 3) de los frutos maduros y separar los frutos pintones, verdes y secos antes del beneficio.

Figura 3. Selección de grano (A la izquierda selección por grado de madurez, a la derecha arcoíris de color de cerezas para medición de grados brix)



Durante toda la historia dentro del área investigativa para el café ha existido una serie de trabajos que han tratado de desarrollar nuevos conocimientos para acentuar cada vez más la calidad del café.

El mucílago, la pulpa de café (Figura 4) y los frutos de los vegetales contienen diferentes sustancias pécticas y también pectinasas. Las enzimas pectinolíticas, celulolíticas y hemicelulolíticas aceleran los procesos de degradación e hidrólisis de los carbohidratos correspondientes y facilitan el desprendimiento del mucílago (Peñuela *et al.*, 2010).

El grano de café, está cubierto por una capa de mucílago o pulpa, la cual mide aproximadamente 0.4 milímetros de espesor y está compuesta por agua, polisacáridos, azúcares, proteínas, lípidos, minerales y ácidos (Avallone *et al.*, 2002). Aunque esta estructura representa entre 15% y 22% del peso del fruto maduro con relación al contenido de humedad, tiene que ser removida durante la etapa de fermentación en el proceso de beneficiado por vía húmeda (Peñuela, 2010).

Figura 4. Pulpa de café obtenida después del proceso de despulpado



El contenido del mucílago en el fruto de café difiere según la variedad, el estado de madurez y la humedad del fruto; en promedio el fruto de café maduro y fresco contiene cerca del 11% en peso de mucílago.

El mucílago de *Coffea arabica*, que es el grano que se desplaza en cantidades mayores por sus características, está compuesto por 85% a 89% de agua, 8% a 10% de carbohidratos, en su mayoría sustancias pécticas y azúcares, 1% de proteínas, 0,1% de lípidos y 0,45% de minerales, y también se ha reportado celulosa. Además, pueden estar presentes microorganismos como levaduras de los géneros *Saccharomyces*, *Torulopsis*, *Candida* y *Rhodotorula*, y bacterias como *Lactobacillus* y *Enterobacter* principalmente, su presencia depende de la manipulación de los frutos de café durante la recolección y de las condiciones de los granos en el beneficio del café, el mucílago se retira del grano de café para mejorar el color del pergamino, para facilitar el secado y evitar la proliferación de hongos.

Despulpado

El despulpado consiste en retirar la pulpa que está alrededor del fruto por medio de presión, este procedimiento se realiza con una despulpadora por la cual pasa el café cereza seleccionado y lavado previamente, pasa a través de una tolva hacia un tambor, el cual al rotar lleva el café

hacia un punto donde la presión ejercida hace salir el grano de la pulpa (Cárdenas y Pardo, 2014).

Fermentación

Las fermentaciones son procesos metabólicos donde participan levaduras y bacterias, que transforman compuestos orgánicos en otras sustancias orgánicas más simples, ayudan a la conservación de los alimentos y forman compuestos que dan sabores, aromas y texturas (Puerta, 2010). En este proceso las enzimas y microorganismos naturales contenidos en el café trabajan para desintegrar la estructura del mucílago que queda adherido al grano después del despulpado y antes del lavado.

La industria cafetalera ha incorporado la fermentación en el proceso de beneficiado, a medida que se han desarrollado investigaciones se ha pasado de una fermentación tradicional a una fermentación controlada, obteniendo bebidas de calidad superior con sabores y aromas peculiares que agregan valor y permiten establecer una calidad constante en el producto. A estos cafés se les denomina “cafés especiales” (Pivaral y Cruz, 2018).

Existen diferentes fermentaciones y de acuerdo a la vía por la que es desprendido el mucílago son llamadas como se menciona a continuación:

- Fermentación natural: Consiste en dejar al fruto en un tanque de fermentación donde cae luego del despulpado, con la actuación de la microbiota del mismo café.
- Fermentación mecánica: Se utiliza maquinaria especializada que retira rápidamente el mucílago del grano.
- Fermentación con enzimas: Con el fin de acelerar la fermentación se adicionan enzimas y químicos a la masa de fermentación.
- Fermentación en seco o sólida: En este caso se deja el café despulpado sin adición de agua en el contenedor a fermentar, aunque también existen máquinas que permiten realizar este tipo de fermentación. El desagüe del contenedor se mantiene cerrado y no se adiciona agua, es más compleja y genera diversidad de notas como frutales, cítricos y chocolates.
- Fermentación sumergida: El café despulpado se deposita en el fermentador y luego se agrega agua, de esta forma cambian la composición química y microbiológica del sustrato, considerando que estos sistemas son más homogéneos secos y en ellos predomina una calidad de taza muy suave con notas a chocolate y caramelo.

También se mencionan diferentes métodos en los sistemas de fermentación:

- Fermentaciones abiertas: Ocurren natural y simultáneamente las fermentaciones lácticas por *Lactobacillus spp.* y *Streptococcus spp.*, y la fermentación alcohólica por levaduras, principalmente *Saccharomyces cerevisiae* que favorece notas frutales, chocolates y dulces.
- Fermentaciones cerradas: Los fermentadores se tapan, lo cual favorece también el desarrollo de fermentaciones mixtas, se producen sabores frutales, dulces, avellana, vainilla, aunque también florales y terrosos (Puerta y Echeverry, 2015).

Cualquiera que sea el método elegido se debe tener en cuenta que, por mezclar café despulpado en diferentes tiempos, dejar el café sin control después de concluida la fermentación, así como el retraso en comenzar el secado, se ocasiona deterioro del aroma, acidez y sabor del café, que afecta negativamente la calidad del grano y de la bebida.

Lavado

Se realiza con el fin de quitar en su totalidad el mucílago, este se puede hacer añadiendo agua hasta que el grano se sienta limpio, una prueba en campo puede ser tomar un puño de café durante el lavado y cuando se abre la mano ya no debe quedar pegado en la palma de la misma.

Secado

Luego del lavado se deja secar el grano con el fin de reducir el contenido de humedad del café pergamino garantizando condiciones óptimas para el posterior proceso de trillado y almacenamiento. Este proceso se puede realizar de diferentes maneras:

1. Secado al sol: Se extienden los granos al sol durante un largo periodo de tiempo que es aproximado de 7 a 15 días según sean las condiciones climáticas.
2. Secado en patios de cemento: Patios con piso de cemento que puede o no tener pendiente aproximada del 1%.
3. Secado en carros o silos: Son cajones montados en una estructura que puede ser de madera o de hierro.
4. Secador mecánico: Se realiza con la ayuda de máquinas, es más rápido, pero se corre el riesgo de afectar la calidad del café.

Trillado

Este proceso consiste en separar del grano el pergamino o cáscara alrededor de la semilla de café, con una máquina de trilla la cual por una acción de fricción y presión por fuerza rotacional hace salir la semilla por corrientes de aire. Es la parte final del proceso de beneficio donde se obtiene el café almendra o verde listo para exportación o tostión según sea el caso. Después de 24 horas se determinará el contenido de humedad de los granos en verde con ayuda de un medidor de humedad (Pivaral y Cruz, 2018).

Evaluación sensorial

La calidad en taza del café se evalúa después del tostado realizado al grano, mediante una cata (evaluación para conocer características sobre la calidad final).

En general, en las fermentaciones del café predomina una calidad de taza, que puede ser corroborada por una evaluación sensorial bajo protocolos de evaluación y calificar los atributos encontrados en el aroma del café molido, aroma de la bebida, acidez, amargo, cuerpo y sabor del café (Tabla 1). Las categorías 9, 8 y 7 describen las cualidades deseables en todos los atributos, siendo de 9 en adelante la mejor calificación, propia de una bebida de características equilibradas, 6, 5, 4 son tazas de cualidades tolerables y de 3 a 1 se encuentran cafés calificados con defectos (Sánchez y Olivares, 2019).

Ejemplos de fermentaciones documentadas

López *et al.*, (2015), realizaron registro durante 80 horas continuas del comportamiento de algunas variables (pH, T° ambiente, Humedad relativa, °Brix) asociadas al proceso de fermentación de café y se determinó que el tiempo de fermentación afecta la calidad de la bebida de café, observaron la disminución de la concentración de pH mediante muestreo (Figura 5), grados °Brix en función del tiempo de fermentación e incremento de la calidad (Sánchez y Olivares, 2019).

Se ha encontrado que la fermentación natural, influye favorablemente en la calidad sensorial del café, realizada con un tiempo de 14 horas, con condiciones monitoreadas, lavando el café con agua limpia y secando inmediatamente, presentan las mejores calificaciones en los atributos acidez, amargo, cuerpo e impresión global, al ser comparado con otros métodos de beneficio húmedo, semihúmedo y seco (Valencia *et al.*, 2015).

Tabla 1. Escala para la calificación y descripción de la calidad de la bebida de café

Calidad especial y superior		Calidad media			Rechazo			
9	8	7	6	5	4	3	2	1
La mejor	Muy buena	Buena	Tolerable	Media	Baja	Rechazo	Rechazo	Rechazo
Tostado, avellana, frutal, dulce, almendra, cítrico, malta, moras, caramelo, vino, clavos, vainilla, herbal			Fique	Verde, astringente, banano, césped	Acidez baja	Maíz, pronunciado amargo, madera, cereal quemado	Fermento, flores, pulpa, sucio, plátano, grasa, áspero, cebolla, húmedo, agrio, coco	Vinagre, picante, tierra, ahumado, cuero, moho, podrido, hediondo, fenol

Fuente: Sánchez y Olivares, 2019.

Figura 5. Muestreo (Se realiza para toma de parámetros durante la fermentación)



A pesar de que la industria del café tiene generaciones de conocimientos, en el Estado de México todavía hay deficiencia en el control de los procesos del café, en particular en la fermentación, lavado y secado (Figura 6), lo cual ocasiona defectos, falta de consistencia en la calidad del producto y pérdidas económicas para los cafeticultores y desaprovechamiento de mercados (Valencia *et al.*, 2015).

En el proceso de beneficio de café, la fermentación, puede ser considerada como una de las etapas determinantes sobre la calidad del grano, por lo que se propone a los productores, la realización de la fermentación vigilada, monitoreada o controlada del café, ya que puede inferir sobre su aceptación debido a la calidad final, su incursión en mercados especializados y mejoras en el precio (Córdoba y Guerrero, 2016).

Puntos a considerar durante la fermentación

Cabe aclarar que, aun conociendo el proceso fermentativo, éste no se realiza como una receta a seguir porque cada país e inclusive territorio

posee condiciones y características propias de la región, por lo tanto, los resultados están sujetos a las condiciones de cada finca.

Figura 6. Secado en patio (Se extiende el grano en capas homogéneas para facilitar el secado)



De ahí que se puedan realizar algunas recomendaciones generales y llevarlas a la práctica durante el beneficio:

- Recolectar y seleccionar los frutos por estado de madurez.
- Eliminar granos dañados por plagas o enfermedades, mediante la práctica de flotado.
- Utilizar tanques de acero inoxidable o contenedores limpios, de superficies lisas, donde no se almacenen materiales o microorganismos en las paredes, que no hayan sido utilizados para almacenar sustancias tóxicas o cualquier otro material que haya dejado residuos u olores o sabores ajenos al café.

Después de haber hecho referencia a lo largo de ésta recopilación de información sobre algunos aspectos y la manera en que se ven involucrados durante el beneficio del café; siendo el tiempo de fermentación

una de las principales variables a monitorear, ya que puede ser benéfico o perjudicial para las características sensoriales de la bebida, además de la temperatura, microorganismos presentes, la calidad del agua, entre otros, se considera que si los cafeticultores entienden el comportamiento de estos principalmente, podrán comprender el beneficio húmedo, llevarlo a la práctica de acuerdo a las características del fruto y a las condiciones de la zona donde se realice.

Conclusiones

Se debe tener conciencia de que cuando de café se trata, se habla de un alimento, por lo tanto, se debe asumir especial cuidado en cada etapa que interviene para la obtención del producto final; desde su manejo en campo, recolección, beneficio (pasando por el proceso fermentativo) hasta el empaque, para evitar contaminaciones y demeritar la calidad del producto final. El propósito de dar a conocer las generalidades respecto al tema de la fermentación, es posicionarlo en mercados especializados sin dejar de lado el café comercial, considerando de suma importancia que la información esté al alcance de los cafeticultores para poder satisfacer las exigencias de los consumidores finales. Siendo esencial fomentar alianzas estratégicas entre la comunidad científica y el sector productivo para impulsar la transferencia del conocimiento que se genera y así incrementar la calidad en taza, ya que hoy en día éste beneficio húmedo no es del conocimiento de la mayoría de los productores en la región, quienes por generaciones han realizado un beneficio por la vía seca con resultados heterogéneos y en el entendido de que existe un mercado tan amplio pero tan competido, es necesario que los productores del Estado de México volteen a ver los aspectos a mejorar y las alternativas existentes a fin de ser reconocidos por ofrecer un café de excelencia orgullosamente Mexiquense.

Fuentes consultadas

- Avallone, S., Brillouet, J.M., Guyot, B., Olguin, E. y Guiraud, J.P. (2002). Involvement of pectolytic microorganisms in coffee fermentation. *International journal of food science and technology*, 37(1), 191-198. [https://doi: 10.1046/j.1365-2621.2002.00556.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00556.x)
- Córdoba Castro, N. M. y Guerrero Fajardo, J. E. (2016). Caracterización de los procesos tradicionales de fermentación de café en el departamento de Nariño. *Biotecnología en el sector Agropecuario y agroindustrial*, 14(2), 75-83. [https://doi:10.18684/bsaa\(14\)75-83](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)75-83)

- Dos Santos Silva, J., Silva Nadaleti, D. H., Angélico De Mendonca, J. M., Rodrigues Carvalho, G., Elias Botelho, C., Ribeiro Malta, M., Coto Markus, S. E. y Coto Osorio, S. F. (2022). Influencia del tiempo de fermentación en la calidad sensorial de genotipos de café Arabica en Guatemala. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 45(2), 235-242. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.2.235>
- Cárdenas Díaz, J. P. y Pardo Pinzón J. D. (2014). Caracterización de las etapas de fermentación y secado del café la primavera. Programa de Ingeniería Industrial Bogotá D.C. Programa de pregrado Ingeniería Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/02/caracterizaci%C3%93n-de-las-etapas-de-fermentaci%C3%93n-y-secado-del-caf%C3%89-la-primavera-1.pdf>
- González Razo, F. de J., Sangerman Jarquín, D. M., Rebollar Rebollar, S., Omaña Silvestre, J. M., Hernández Martínez, J. y Morales Hernández, J. L. (2019). El proceso de comercialización del café en el sur del Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10 (6), 1195-1206. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.2057>
- Gotteland, Martín. y de Pablo V, Saturnino. (2007). Algunas verdades sobre el café. *Revista chilena de nutrición*, 34(2), 105-115. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182007000200002>
- Peñuela Martínez, A. E., Oliveros Tascón, C. E., Sanz Uribe, J. R. (2010). Remoción del mucílago de café a través de fermentación natural. *Cenicafé*, 61(2), 159-173. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061\(02\)159-173.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc061(02)159-173.pdf)
- Pivaral Cruz, R. O. y Cruz Padilla, J. E. (2018). Evaluación del efecto de *Saccharomyces cerevisiae* sobre la caracterización sensorial del café en dos sistemas de fermentación (Tesis de Licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras). <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/41078b23-0459-42fd-afaa-7887c9f2c892/content>
- Puerta Quintero, G. I. (2010). Fundamentos del proceso de fermentación en el beneficio del café. *Cenicafé Avances Técnicos* 402, 1-12. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0402.pdf>
- Puerta Quintero, G. I. y Echeverry J. G. (2015). Fermentación controlada del café: Tecnologías para agregar valor a la calidad. *Cenicafé Avances técnicos* 454, 1 – 12. <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/558/1/avt0454.pdf>
- Sánchez de la Cruz, I. G. y Olivares, Muñoz. S. V. (2019). Efecto de la adición de levadura (*Saccharomyces* sp) en el proceso de fermentación de café

(*Coffea arabica*). *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 3(1), 28-36. <https://doi:10.25127/aps.20191.480>

Valencia J., Pinzón M. y Gutiérrez R. (2015). Caracterización fisicoquímica y sensorial de tazas de café producidas en el departamento del Quindío. *Revista Alimentos Hoy*, 23(36), 150-156. <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/viewFile/352/302>

**Parte V. Problemas de gestión sanitaria
en la caficultura mexicana**

Comparación de la distribución espacial de Minador de la Hoja (*Leucoptera Coffeella*) en cafetales del Estado de México

Alejandra Barrera-Rojas¹
José Francisco Ramírez Dávila²
Martín Rubí Arriaga²
Delfina de Jesús Pérez López²

Introducción

El café es un cultivo básico y tradicional, con años de encontrarse en la agricultura nacional, en México es una de las bebidas más populares cuya producción en el país es tan extensa que actualmente ocupa el onceavo lugar en producción a nivel mundial y el primero en productor mundial de café orgánico. El producir café es una manera generosa de generar empleos de manera directa o indirecta, cabe recalcar que no solamente es un cultivo de gran trascendencia, ya que este se ha convertido en el cultivo acorde para el desarrollo de programas de apoyo al sector cafetalero; sino que cultural y ecológico ya que por sus plantaciones bajo sombra principalmente nos ayuda a conservar el medio ambiente.

México es un gran productor de café de buena calidad gracias a la altura, clima, topografía, suelo y a las variedades producidas; donde la especie "Arábica" es la que principalmente se produce, utilizando la mayoría de sus variedades como lo son Bourbon, Caturra, Maragogipe, Mundo Nuevo, Garnica y Typica; siendo esta última la más destacada, sin embargo, hoy en día se están comenzando a utilizar variedades de porte bajo y con mayor producción como lo es Catimor y Catai; variedades que gozan de más calidad, volumen producido, rendimiento, aroma, acidez y algo muy importante, resistentes a plagas y enfermedades.

¹ Estudiante del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo", El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: abarrerar002@alumno.uaemex

² Profesor-Investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario "El Cerrillo", El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: mrubia@uaemex.mx; jframirez@uaemex.mx; djperez@uaemex.mx

Una de las plagas de mayor importancia es el llamado minador de la hoja, se trata de un insecto de la familia *Lyonetiidae* del género *Leucoptera* y especie *coffeella* considerado una plaga de época seca, en la cual la larva del minador se alimenta de la hoja, causando daños a la planta. La hembra coloca huevecillos fértiles sobre el haz de la hoja de la planta de café, de forma unitarios, cuando se observan varios huevos juntos significa que varias hembras ovopositaron allí. Si la larva no emerge en un lapso de 6 a 7 días indica que esta está alimentándose dentro, lo que realizara por 15 días generando minas en las hojas. Posteriormente, está larva sale de las minas y se dirige a pupar para desarrollarse posteriormente en adulto. Su ciclo de vida integro llega a ser de 26 -29 días (Minador de la hoja – Información – Panorama AGROPECUARIO, s/f). Si se presentan altas incidencias, esta plaga puede provocar defoliaciones, lo que ocasiona afectaciones en los procesos de floración y cuajado del fruto.

El manejo de la plaga debe realizarse de una manera integral, utilizando estrategias de muestreo, un control cultural, biológico, natural y químico, siendo este aspecto de relevancia, teniendo en cuenta el desembolso que los productores generan realizando esta actividad. En la implementación de un buen programa de manejo integrado para minador de la hoja, tendría que ser determinante el conocer el comportamiento poblacional de este y a su vez determinar la forma en que oscila en el tiempo. Para este aspecto concreto la aplicación de la geoestadística resulta ser una herramienta eficaz y pertinente, que puede ser de gran ayuda para el control de esta plaga.

La Geoestadística es considerada una rama de la estadística aplicada que se caracteriza por el análisis y la modelización de variables espaciales en ciencias de la tierra. Donde su principal estudio hoy en día se considera el análisis y la predicción de manifestaciones en el tiempo y/o espacio. Donde en oposición con la estadística clásica o convencional, los valores no se consideran independientes, es decir, existe una relación o dependencia espacial que nos dice que los valores están correlacionados; esta herramienta nos permite analizar la distribución espacial de poblaciones de insectos y así conocer su comportamiento en el espacio y en el tiempo para poder establecer un control adecuado.

El presente trabajo tiene como finalidad hacer la comparación de la distribución espacial de minador de la hoja (*Leucoptera coffeella*) en tres municipios productores de café en el estado de México, para tal efecto se modelizó la distribución espacial de las poblaciones de minador mediante la utilización de técnicas geoestadísticas y así realizar una

respectiva comparación. También se realizaron mapas de distribución espacial de las poblaciones de minador mediante la técnica del krigado ordinario y así se determinó el porcentaje de infestación de la plaga.

Materiales y métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en municipios productores de café del estado de México abarcando Amatepec con altitud de 1813 metros, Temascaltepec con 2200 metros y Sultepec con 2,314 metros sobre el nivel del mar, así como con temperaturas de entre 5 y 24° C y una precipitación media de 2446 mm. Donde se muestrearon dos parcelas de media hectárea cada una, por municipio, considerando 200 arbustos (puntos de muestreo) distribuidos aleatoriamente en la parcela, cada arbusto seleccionado se etiqueto con una banda plástica de color rojo y se georreferencio mediante un sistema de posicionamiento DGPS (modelo SPS 351, Trimble) para establecer sus coordenadas geográficas. Se realizaron los muestreos cada catorcena para tener un total de 12 muestreos por parcela, por municipio. Para contabilizar el número de minadores se contaron la cantidad de hojas minadas en cuatro ramas (cada una por punto cardinal) de cada estrato del arbusto.

Obtenidos los datos de muestreo se realizó la comprobación de la normalidad de los datos con el objeto de poder cubrir este requisito importante para utilizar las técnicas geoestadísticas y de esta forma conocer el comportamiento espacial del insecto plaga y su daño el cual fue medido en cuanto al número de minas que presentaban las hojas. Para el estudio se consideraron las variables climáticas (temperatura, humedad, velocidad del viento y precipitación) en cada una de las parcelas seleccionadas, consultando estaciones meteorológicas cercanas.

El análisis geoestadístico comprende tres pasos principales (Isaaks y Srivastava, 1989). los cuales son:

1) La estimación del semivariograma. Esta se estimó con base a los datos obtenidos en cada uno de los muestreos, donde el valor experimental del semivariograma se estimó con la expresión (Moral García, 2004).

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2$$

donde: $\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $N(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable

de interés en el punto muestral x_i y $z(x_i + h)$ es valor de la variable de interés en el punto muestra $x + h$.

En la realización del semivariograma experimental a cada muestreo de las zonas experimentales se empleó el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New York, USA.)

2) La estimación de los parámetros del modelo de semivariograma. Obtenidos los semivariogramas experimentales en el muestreo de las poblaciones de minador de la hoja, se ajustaron a algún modelo teórico; los cuales no son más que funciones con una expresión analítica sencilla que se emplea para representar semivariogramas reales.

Los modelos teóricos más comunes y a los cuales se deberán ajustar los semivariogramas experimentales realizados son modelo esférico, modelo exponencial, modelo gaussiano, modelo logarítmico, modelo efecto pepita puro, modelo efecto agujero, modelo monómico (Sciarretta *et al.*, 2001); utilizando el programa Variowin versión 2.2 (Tapia Rodríguez *et al.*, 2020).

Ajustados los semivariogramas a alguno de los modelos mencionados fue necesario llevar a cabo la validación, la cual se llevó a cabo con el método de validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1989), a través de este procedimiento no paramétrico se elimina el valor muestral y se utiliza el método de interpolación geoestadístico llamado krigeado a la par con el modelo de semivariograma a validar, para poder calcular el valor de la variable de interés según el punto muestral a partir de los valores muestrales restantes. Esta sucesión se realizó continuamente en todos los sitios muestreados y la disimilitud entre los valores experimentales y los valores estimados se obtienen a través de los llamados estadísticos de validación cruzada (Hevesi *et al.*, 1992). Donde los parámetros a validar (C_0 , efecto pepita, C , meseta y a , rango o alcance) se modificaron con método de prueba error hasta lograr tener los estadísticos de validación cruzada adecuados (Maldonado Zamora *et al.*, 2017). Donde los estadísticos son los siguientes:

1) Media de los errores de estimación (MEE):

$$MEE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]$$

donde $z^*(x_i)$ es el valor estimado de la variable de interés en el punto x_i ; $z(x_i)$ es el valor medido de la variable de interés en el punto x_i y n es el número de puntos muestrales utilizado en la interpolación. La MEE no debe ser significativamente distinta de 0 (Prueba de t), en cuyo caso,

indica que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimadores no sesgados.

2) Error cuadrático medio (ECM):

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2$$

Un modelo de semivariograma se considera adecuado si, como regla práctica, el ECM es menor que la varianza de los valores muestrales (Hevesi *et al.*, 1992).

3) Error cuadrático medio adimensional (ECMA):

$$ECMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{z^*(x_i) - z(x_i)}{\sigma_k} \right]^2$$

La validez del modelo se cumple si el ECMA se encuentra entre los valores $1 \pm 2(2/N)^{0.5}$. Igualmente se debe cumplir que la varianza de los errores debe ser menor o igual que la varianza muestral (Samper y Carrera, 1996).

Validados los modelos se llevará a cabo una regresión simple entre número de minador de hoja de cada parcela y su respectivo valor del efecto pepita, para comprobar si hay o no una relación significativa.

Nivel de Dependencia Espacial

Para percibir el grado de relación que existe entre los datos o nivel de dependencia espacial se llevó a cabo la división del efecto pepita entre la meseta y el resultado obtenido se presenta en porcentaje. Donde si el resultado es menor a 25% el nivel de dependencia espacial es alta, si resultara entre 26% y 75% el nivel de dependencia sería moderado y si fuera mayor a 76% el nivel de dependencia estará bajo, según Sayad *et al.*, (2017).

La Estimación de la Superficie (mapas) Utilizando el Krigado

Obtenidos los modelos de semivariogramas ya validados se empleó el método geoestadístico llamado krigado, que es un estimador exacto y sus ecuaciones no dependen de los valores medidos de las variables, sino solamente de sus posiciones y del semivariograma; a través de este método se elaboraron los mapas de densidad para las poblaciones de minador de la hoja de cada una de las parcelas y fechas de muestreo. El

krigeado es el método de interpolación que permite la estima no sesgada de puntos que no fueron muestreados.

El objetivo de este método es generar una estimación $Z^*(x)$, de $Z(x)$, como una mezcla lineal de valores medidos Z_i en los puntos de observación X_i . Así como también obtener la varianza del error de estimación. Lo que da origen a un sistema lineal de ecuaciones que se conoce como ecuaciones de kriging. Según menciona Trematerra *et al.* (2004) existen varios tipos de kriging que se basan en distintas hipótesis. En el presente trabajo se utilizará el kriging ordinario para obtener las estimaciones correspondientes, utilizando el software Surfer 16.0 (programa de interpolación) para la elaboración de los mapas de infestación.

Superficie Infestada

A través de estos mapas se continuo con el cálculo de la superficie infestada en cada muestreo y parcela, procedimiento que nos sirvió para conocer si la infestación se presenta en toda el área de estudio o no y así posteriormente realizar programas de manejo adecuados. Así como realizar un análisis de los gastos en cuanto a las aplicaciones dirigidas a el control de minador de la hoja, lo que nos permitió conocer el ahorro económico que se tendría con aplicaciones dirigidas a solo las zonas infestadas, demostrando que se puede tener un ahorro económico y de producto en cada una de las aplicaciones generadas; y esto si se manejara a nivel región generaría un beneficio en el cuidado del medio ambiente.

Ahorro Económico

Para este apartado, ya conocido el porcentaje de infestación de la plaga en cada mapa, se realizó un cálculo en el costo de una aplicación normal como es que la manejan los productores y de esta manera con el porcentaje de infestación se calculó el costo de una aplicación dirigida a solo las zonas infestadas, la diferencia entre ambos valores nos indicó el valor del ahorro económico obtenido mediante esta técnica aplicada.

Resultados y discusión

En el presente trabajo con la información recabada en cada uno de los muestreos catorceenales que se realizaron fue posible determinar la presencia de *Leucoptera coffeella* en los 12 muestreos realizados, en cada una de las seis parcelas de los tres municipios, donde en el pri-

mer muestreo del mes de septiembre de cada parcelas, se tuvo la mayor población de minador de la hoja; comenzando por la parcela de Amatepec, teniendo 11.8 individuos por arbusto, seguida por una segunda también de este municipio con 11.35 individuos (Tabla 1); posterior a este municipio se encuentra Sultepec y finalmente Temascaltepec con el menor número de individuos por arbusto. Siendo la época seca cuando más se llega a desarrollar esta plaga, ya que es a los cambios de temperatura a los que se le atribuye este incremento por que el minador de la hoja es una especie que prevalece en periodos de verano y durante fenómenos meteorológicos. Incluso se menciona que si la temperatura llega a aumentar un grado se obtiene una generación adicional al año (Constantino *et al.*, 2011)

Los modelos a los que se ajustaron los semivariogramas fueron en su mayoría esféricos el cual nos indica que la plaga tiene un comportamiento más estable con focos de infestación bien establecidos, solo para el mes de febrero en Amatepec y Sultepec se presentó el modelo gaussiano que hace referencia a la continuidad de la plaga (Tabla 1).

Los semivariogramas se ajustaron a los modelos esférico y gaussiano, de lo que se concluye que las parcelas que los modelos fueron esféricos nos indican que de las poblaciones de minador de la hoja se presentaron en mayor cantidad en zonas específicas de la parcela que el remanente de los puntos considerados en el muestreo, es decir, los centros de agregación son aleatorios, estando dentro de la zona infestada, ocasionado por las condiciones ambientales. Tapia Rodríguez *et al.* (2020) en su estudio de antracnosis en aguacate, mencionan que los modelos esféricos tienen una dependencia espacial alta; indicando que dentro de los huertos de estudio hay zonas donde hay mayor infección de antracnosis, y esto posiblemente a las condiciones agronómicas y del ambiente.

Para el caso de los modelos gaussianos, nos indican que el comportamiento de la agregación de minador de la hoja se presenta de manera continua en las parcelas, ya que la infestación de este insecto con relación a su avance es entre los arbustos vecinos, lo que nos indica que podría ser hoja por hoja ya que el arbusto presenta las condiciones para su desarrollo. También Quiñones Valdez *et al.*, 2020 en su estudio de distribución de *Trips*, describieron que la presencia de *trips* se ajusta a modelos gaussianos, ya que el comportamiento del insecto se expresa de forma continua en las plantaciones de gladiolo.

Tabla 1. Parámetros efecto pepita, meseta y rango, así como modelos ajustados a los semi-variogramas de minador de la hoja en tres municipios del estado de México

Parcela 1. Temascaltepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	3.910	Esférico	0	15.92	9.6	Alta
Septiembre 2	3.264	Esférico	0	13.85	5.6	Alta
Octubre 1	3.162	Esférico	0	13.38	9	Alta
Octubre 2	3.175	Esférico	0	13.23	10.2	Alta
Noviembre 1	2.979	Esférico	0	12.15	11.4	Alta
Noviembre 2	2.544	Esférico	0	10.2	6.4	Alta
Diciembre 1	2.328	Esférico	0	9.22	8.4	Alta
Diciembre 2	2.230	Esférico	0	8.16	10.2	Alta
Enero 1	1.891	Esférico	0	9.17	9	Alta
Enero 2	1.919	Esférico	0	6.39	6.4	Alta
Febrero 1	1.610	Esférico	0	5.29	6.4	Alta
Febrero 2	1.498	Esférico	0	4.93	6	Alta
	2.5425					

Tabla 1. Continuación. Parcela 2. Temascaltepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	3.875	Esférico	0	13.35	9.6	Alta
Septiembre 2	3.574	Esférico	0	12.25	8.4	Alta
Octubre 1	3.310	Esférico	0	11.27	9	Alta
Octubre 2	2.992	Esférico	0	8.49	9	Alta
Noviembre 1	2.787	Esférico	0	9.06	9	Alta
Noviembre 2	2.660	Esférico	0	8.45	8.4	Alta
Diciembre 1	2.487	Esférico	0	8.23	8.4	Alta
Diciembre 2	2.318	Esférico	0	7.30	9.6	Alta
Enero 1	2.166	Esférico	0	6.65	9	Alta
Enero 2	1.849	Esférico	0	5.87	8.4	Alta
Febrero 1	1.710	Esférico	0	5.18	7.8	Alta
Febrero 2	1.566	Esférico	0	5.02	8.4	Alta
	2.60783333					

Tabla 1. Continuación. Parcela 1. Amatepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	12.374	Esférico	0	72.49	5.6	Alta
Septiembre 2	12.390	Esférico	0	70.81	6	Alta
Octubre 1	12.231	Esférico	0	68.59	5.6	Alta
Octubre 2	12.139	Esférico	0	62.83	8.4	Alta
Noviembre 1	12.060	Esférico	0	61.77	9	Alta
Noviembre 2	11.890	Esférico	0	60.30	9	Alta
Diciembre1	11.725	Esférico	0	58.42	7.8	Alta
Diciembre2	11.617	Esférico	0	58.56	7.2	Alta
Enero 1	11.498	Esférico	0	56.23	6	Alta
Enero 2	11.352	Esférico	0	56.21	5.6	Alta
Febrero 1	11.267	Gauss	0	50.96	6.24	Alta
Febrero 2	11.142	Esférico	0	49.05	7.2	Alta
	11.80708					

Tabla 1. Continuación. Parcela 2. Amatepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	12.660	Esférico	0	56.60	9.6	Alta
Septiembre 2	12.365	Esférico	0	51.14	6	Alta
Octubre 1	12.095	Esférico	0	53.32	9	Alta
Octubre 2	11.952	Esférico	0	51.60	9	Alta
Noviembre 1	11.761	Esférico	0	48.18	9.6	Alta
Noviembre 2	11.482	Esférico	0	43.75	6.4	Alta
Diciembre1	11.230	Esférico	0	44.23	9.6	Alta
Diciembre2	10.942	Esférico	0	41.64	10.8	Alta
Enero 1	10.807	Esférico	0	41.43	9.6	Alta
Enero 2	10.452	Esférico	0	38.93	10.2	Alta
Febrero 1	10.329	Esférico	0	36.61	10.6	Alta
Febrero 2	10.180	Esférico	0	33.32	9.6	Alta
	11.35458					

Tabla 1. Continuación. Parcela 1. Sultepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	5.488	Esférico	0	30.66	9	Alta
Septiembre 2	5.439	Esférico	0	28.711	6	Alta
Octubre 1	5.384	Esférico	0	26.97	9.59	Alta
Octubre 2	5.297	Esférico	0	25.845	9.6	Alta
Noviembre 1	5.281	Esférico	0	23.800	9.6	Alta
Noviembre 2	5.217	Esférico	0	22.523	9.6	Alta
Diciembre 1	4.866	Esférico	0	18.189	9.6	Alta
Diciembre 2	4.446	Esférico	0	17.041	5.76	Alta
Enero 1	4.315	Esférico	0	18.173	9.6	Alta
Enero 2	3.902	Esférico	0	14.203	10.2	Alta
Febrero 1	3.688	Esférico	0	19.675	6.48	Alta
Febrero 2	3.133	Gauss	0	12.310	5.4	Alta
4.70466667						

Tabla 1. Continuación. Parcela 2. Sultepec

Muestreo	Media	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Dependencia espacial
Septiembre 1	5.672	Esférico	0	19.55	7.2	Alta
Septiembre 2	5.307	Esférico	0	18.92	10.2	Alta
Octubre 1	4.925	Esférico	0	17.34	11.4	Alta
Octubre 2	4.698	Esférico	0	16.73	10.2	Alta
Noviembre 1	4.465	Esférico	0	16.10	10.2	Alta
Noviembre 2	4.267	Esférico	0	14.267	10.2	Alta
Diciembre 1	3.900	Esférico	0	12.64	10.2	Alta
Diciembre 2	3.487	Esférico	0	11.86	10.2	Alta
Enero 1	3.138	Esférico	0	11.13	9.44	Alta
Enero 2	2.832	Esférico	0	10.36	11.4	Alta
Febrero 1	2.756	Esférico	0	9.56	10.2	Alta
Febrero 2	2.339	Esférico	0	8.20	10.8	Alta
3.98216667						

Los modelos esféricos y gaussianos a los que se ajustaron los semi-variogramas nos indican que *Leucoptera coffeella* no tiene un comportamiento espacial definido, encontrándose en movimiento según las condiciones climáticas principalmente.

Se observa que en todas las fechas de muestreo se encontró un nivel de dependencia espacial alta, lo que nos indica que existe una fuerte relación espacial entre los datos obtenidos en los muestreos, lo que sugiere que los agrupamientos encontrados son estables en el tiempo (Tapia Rodríguez *et al.* 2020).

Para el nivel de dependencia espacial que resulto ser alto, por la división del valor del efecto pepita entre el valor de la meseta, en donde el resultado obtenido es 25% para todos los semi-variogramas. Por lo que los valores del efecto pepita indicaron una alta dependencia espacial, lo cual permite suponer que las poblaciones de minador de la hoja dependen entre sí y su nivel de agregación es alto (Solares *et al.*, 2011).

Para el efecto pepita el resultado siempre fue cero en todas las fechas de muestreo lo que nos indica que el error de muestreo fue mínimo y la escala que se utilizo fue la adecuada, así como lo menciona Lara-Vázquez *et al.*, 2018 en el análisis espacial de las poblaciones de araña roja en el cultivo de aguacate.

Los rangos de los muestreos para el municipio de Temascaltepec fluctuaron entre 5.6 para el muestreo de “septiembre 2” y 11.4 en el muestreo de “Noviembre 1” para la parcela 1 mientras que para la parcela 2 los rangos fueron de 5.02 para “febrero 2” a 9.6 en los meses de “septiembre 1” y “diciembre 2”.

Para el caso de Amatepec los rangos oscilaron entre 5.6 para los muestreos de “septiembre 1”, “octubre 1” y “enero 2”, a 9 en los muestreos de “noviembre 1 y 2” estos datos para la parcela de 1, mientras que para parcela 2 se presentó más la variación en los rangos, mostrando en todos los muestreos un rango diferente, y oscilando para esta parcela rangos de 6.4 en “noviembre 2” a 10.8 en “diciembre 2”.

En el municipio de Sultepec, los rangos oscilaron entre 5.4 para el mes de “febrero 2” a 10.8 para “enero 2” en la parcela 1, mientras que para la parcela 2 los rangos fueron de 7.2 en el mes de “septiembre 1” a 11.4 en “octubre 1”. El conocer el valor del rango nos ayuda a expresar la validez de los modelos ajustados, se extiende a distancias razonables en cuanto a la explicación del fenómeno de agregación de las poblaciones del insecto.

Una herramienta más, que resulta ser elemental para el análisis espacial de plagas, es la creación de mapas de densidad (Figuras 1, 2, 3,);

para lo que en el presente estudio los mapas de infestación nos indican de una manera más visual, cual fue el comportamiento del minador de la hoja en las zonas de estudio, donde en todos los mapas pudimos observar centros de agregación, los cuales también nos sirven para corroborar los modelos de los semivariogramas a los que se ajustaron los muestreos.

Para la superficie infestada de las parcelas (Tabla 2), se calculó con apoyo de los mapas de infestación (Figuras 1, 2, 3), herramienta que nos sirvió para conocer el porcentaje en nivel de infestación de minador de la hoja dentro de las parcelas, donde pudimos observar que en ninguna de las parcelas seleccionadas de los tres municipios se presenta minador de la hoja con infestaciones del 100%, destacando las parcelas de Sultepec por ser el municipio con el mayor porcentaje de infestación siendo este 86%, seguido por Sultepec con 79% y, finalmente, Amatepec con un 68%. Algo que no se debe de confundir es el porcentaje de infestación con el número de insectos por parcela ya que se pueden llegar a encontrar niveles de infestación grandes, pero tener una fluctuación poblacional baja, resaltando que el nivel de infestación solo se refiere a la presencia del insecto dentro de la parcela y o a su nivel poblacional, tal como lo menciona Higuera y García (2014) con la distribución de *trips* en tomate de cascara.

En cuanto al comportamiento espacial que presento este insecto se puede observar en los mapas que se realizaron con la técnica del krigeado, ya que nos permite visibilizar las áreas infestadas y las libres; por lo que en los mapas nos expresan que *Leucoptera coffeella* no se presenta al 100% en las superficies de las parcelas muestreadas. Lo anterior corresponde con Lara Vázquez *et al.* (2018) quienes observaron que las poblaciones de araña roja no presentan infestaciones del 100% en el cultivo de aguacate, indicando que se debe a diferentes factores del ambiente.

Es necesario que en el proceso agrícola se exploren diferentes opciones para manejar plagas en todos los cultivos, ya que resultaría de mayor utilidad y de importancia para el manejo equilibrado con el medio ambiente, como lo menciona Rivera (2016) donde dice que, si bien es cierto que hoy en día la agricultura no se alcanza en su punto máximo sin la utilización de agroquímicos, existen alternativas las cuales se pueden poner en marcha para generar un menor impacto en los ecosistemas.

Tabla 2. Valores de la superficie infestada y no infestada (%) extraídos de los muestreos de minador de la hoja en tres municipios del Estado de México

Muestreo	Temascaltepec						Amatepec						Sultepec	
	La Mina		La Cruz		Avelino 1		Avelino 2		Pedro		Luis Sánchez Flores		S.I. %	S.NO I. %
	S.I. %	S.NO I. %	S.I. %	S.NO I. %	S.I. %	S.NO I. %	S.I. %	S.NO I. %	S.I. %	S.NO I. %	S.I. %	S.NO I. %		
sep-01	86	14	66	34	64	36	68	32	77	23	79	21	79	21
sep-02	86	14	66	34	64	36	68	32	77	23	79	21	79	21
oct-01	85	15	64	36	63	37	67	33	76	24	78	22	78	22
oct-02	85	15	64	36	63	37	66	34	76	24	78	22	78	22
nov-01	84	16	64	36	62	38	66	34	75	25	76	24	76	24
nov-02	84	16	63	37	61	39	65	35	75	25	75	25	75	25
dic-01	84	16	63	37	61	39	65	35	75	25	75	25	75	25
dic-02	84	16	63	37	61	39	64	36	75	25	75	25	75	25
ene-01	84	16	62	38	60	40	63	37	75	25	74	26	74	26
ene-02	83	17	62	38	60	40	63	37	74	26	74	26	74	26
feb-01	83	17	64	36	60	40	63	37	74	26	74	26	74	26
feb-02	84	16	64	36	60	40	62	38	74	26	73	27	73	27

S.I.: Superficie Infestada S.NO I.: Superficie No Infestada

Figura 1. Mapas de densidad de las poblaciones de minador de la hoja en el municipio de Temascaltepec. Parcela 1

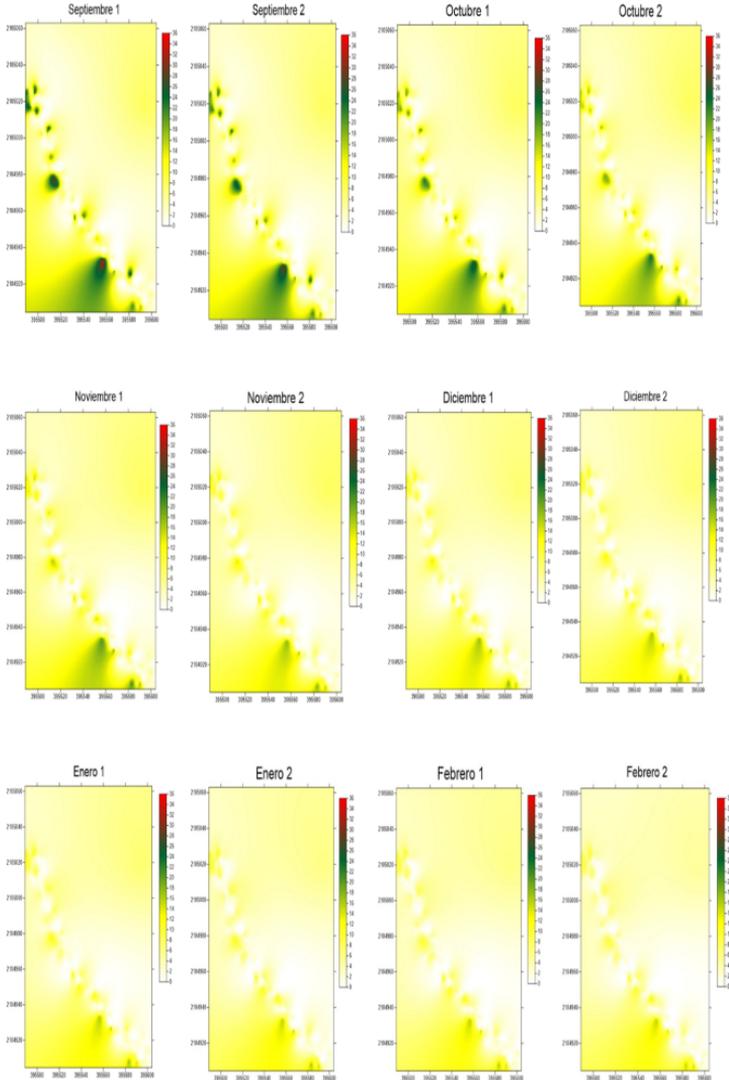


Figura 1. Continuación. Municipio. Temascaltepec. Parcela 2

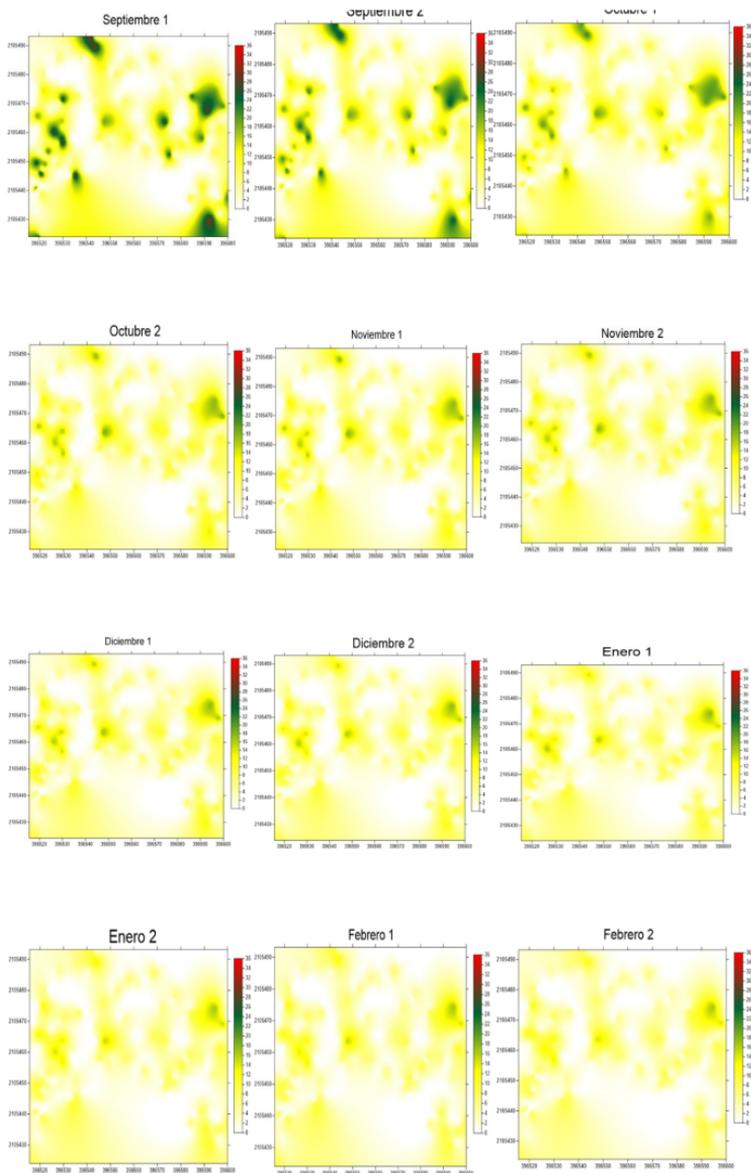


Figura 2. Mapas de densidad de las poblaciones de minador de la hoja en el municipio de Amatepec. Parcela 1

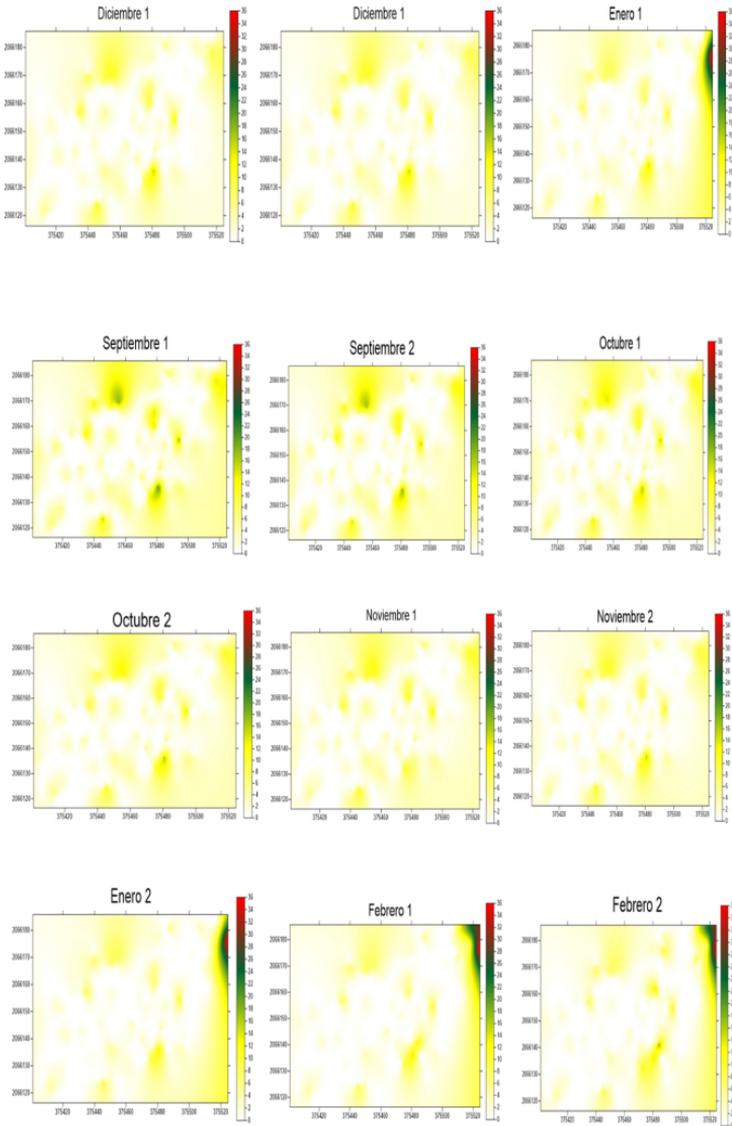


Figura 2. Continuación. Municipio de Amatepec. Parcela 2

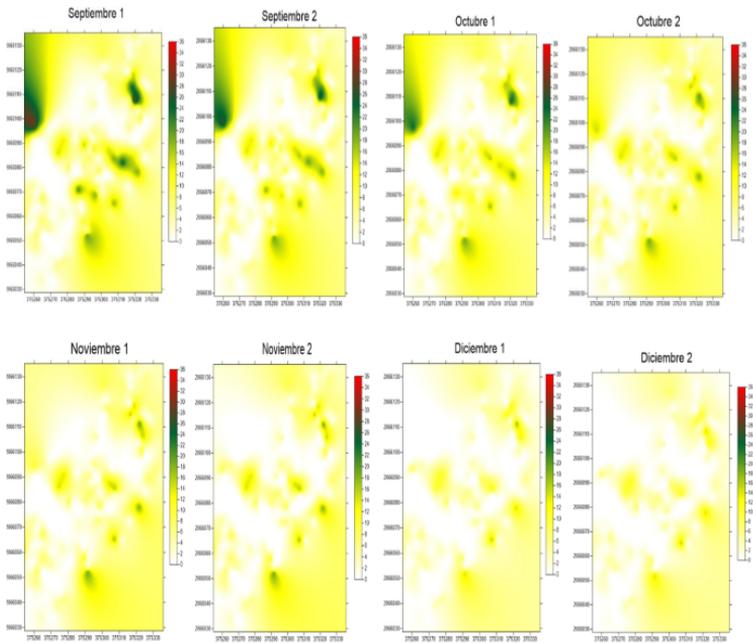


Figura 3. Mapas de densidad de las poblaciones de minador de la hoja en el municipio de Sultepec. Parcela 1

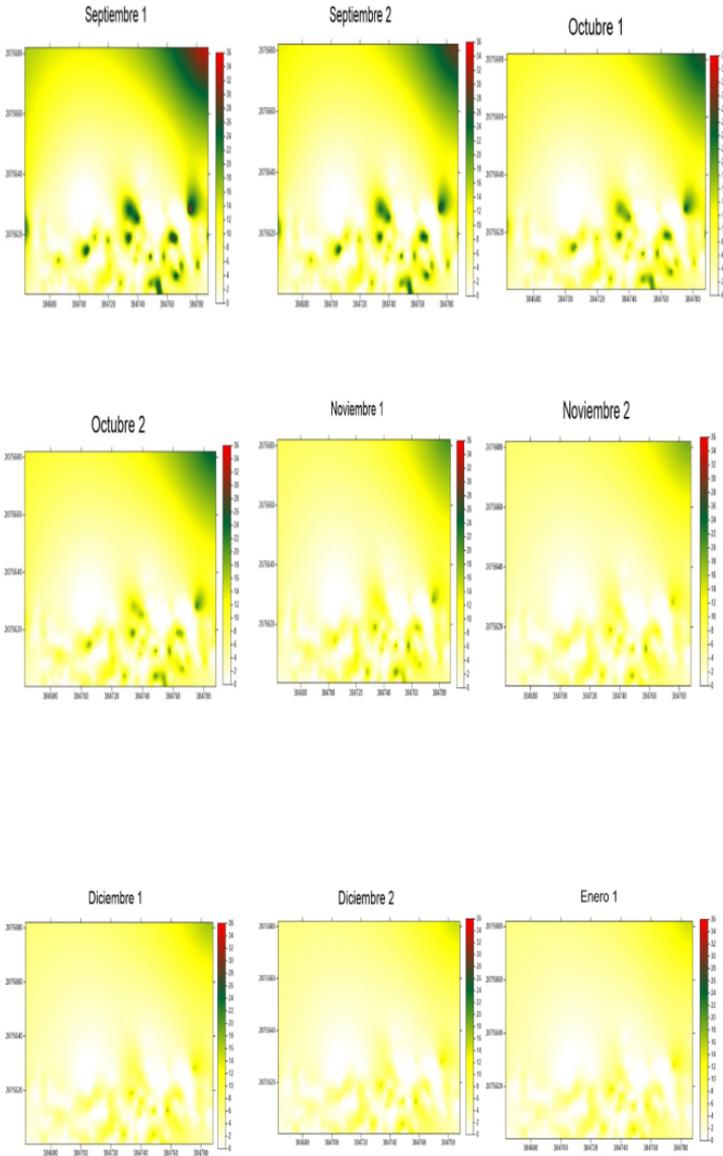


Figura 3. Continuación. Municipio de Sultepec. Parcela 1

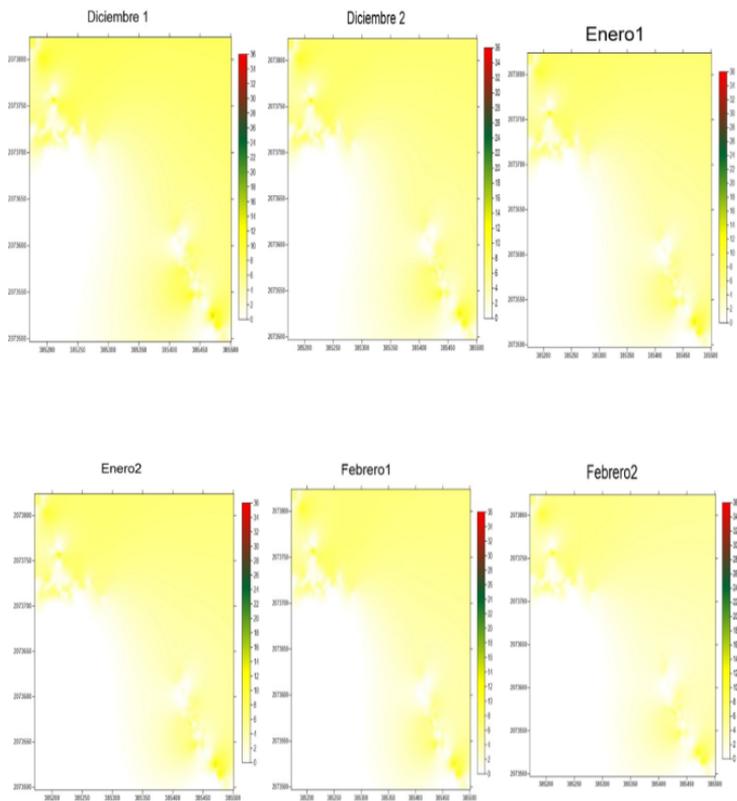


Figura 3. Continuación. Municipio de Sultepec. Parcela 1

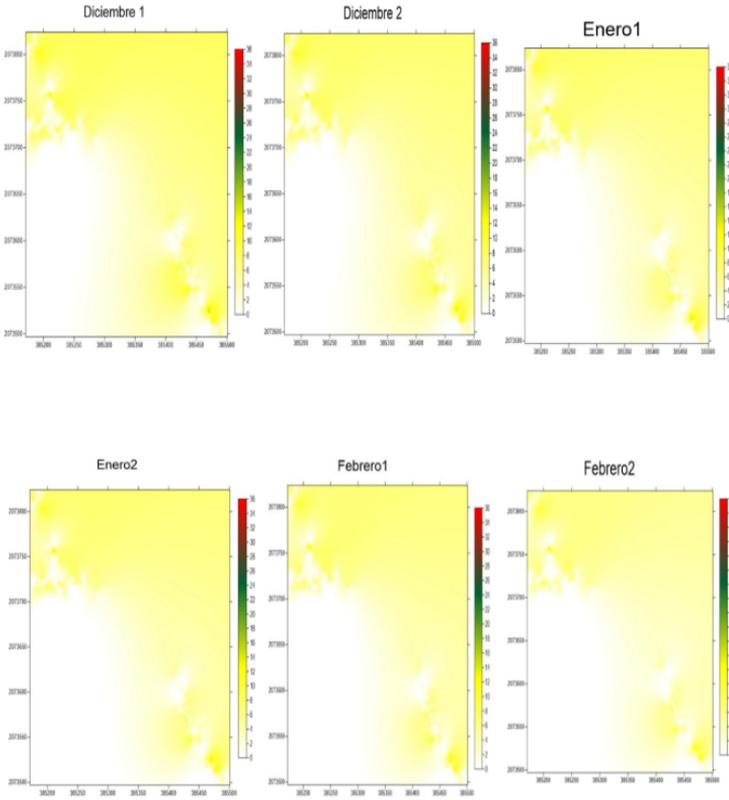
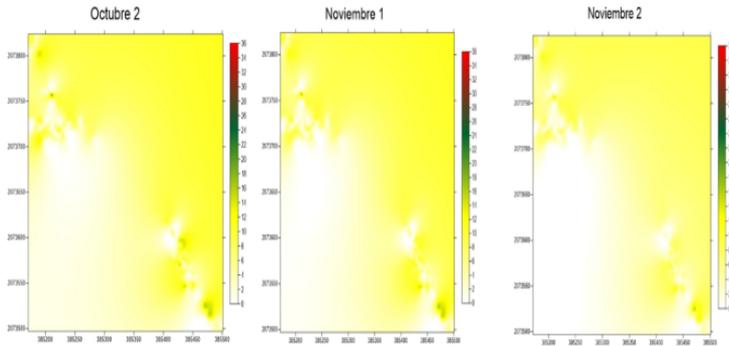


Figura 3. Continuación. Municipio de Sultepec. Parcela 2

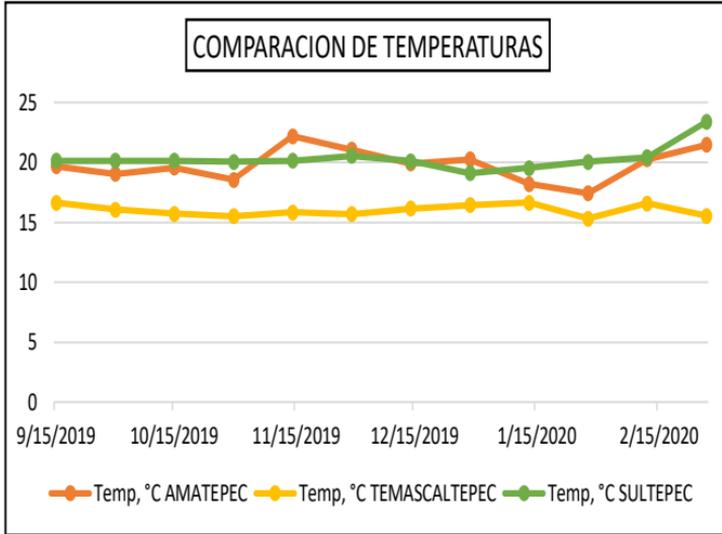


El objetivo de este trabajo fue comparar el comportamiento espacial de *Leucoptera coffeella* en tres municipios, lo cual ayudó a detectar que minador de la hoja muestra mayor presencia en los meses calurosos y secos (Septiembre, Octubre) y que para los meses más fríos el número de minador disminuye, pero se llega a mantener en el tiempo, tal como también lo mencionan Jarra *et al.* (2021) en la distribución de *Copturus aguacatae* en el cultivo de aguacate.

El poder moldear el comportamiento espacial de minador de la hoja en los cafetales mediante la geoestadística fue determinante, la cual nos permitió conocer que este insecto se encuentra de manera agregada en el cultivo. Jiménez C. *et al.* (2013) mencionan que estos métodos proporcionan una medida más directa de la dependencia espacial, ya que se toman en cuenta el origen bidimensional de la distribución a través de su específica localización espacial y es libre de la relación entre la media y la varianza. La geoestadística es una de las técnicas que resulta de gran utilidad para modelizar la distribución espacial tanto de plantas parásitas, insectos, ácaros y enfermedades (Maldonado *et al.*, 2017).

La oscilación de las poblaciones de minador de la hoja en cafetales se presentó durante todos los meses muestreados, siendo los meses calurosos donde se manifiesta el incremento de esta plaga, en el presente trabajo se presentaron las mayores densidades en diferentes meses según el promedio de las temperaturas de los municipios, para lo que en la Figura 4 se presentan los promedios por catorcena de los tres municipios muestreados, los cuales nos indican los meses en que se tuvo variación en temperatura; donde se observa que para los municipios de Amatepec y Sultepec se tuvieron temperaturas medias y altas a diferencia de Temascaltepec que estuvieron en un rango de 15 a 18 °C, aunque a lo contrario a esto se conoce que con el incremento de las temperaturas se tiene el aumento de poblaciones, nos que nos está indicando que es posible que algún otro factor climatológico sea el causante del incremento de las poblaciones de minador o que la presencia de maleza y cultivos cercanos sean el reservorio de minador de la hoja y cuando no se cuente con el alimento necesario en los arbustos migren a la maleza estopara el caso del municipio de Temascaltepec; como lo menciona Esquivel Higuera y Jasso García (2014) con la distribución espacial y el mapeo de gusano soldado en el estado de México, en el cultivo de maíz, el cual indica que se presenyo un adistribucion agregada y se presenta una estabilidad a corto plazo.

Figura 4. Gráfica de comparación de temperaturas de los tres municipios, según los muestreos



Sin embargo, en *Leptinotarsa decemlineata*, SayWeisz *et al.* (1996) mencionan que la movilidad innata de los insectos adultos en la estructura espacial debe ser considerada dinámica, es por eso que algunos otros factores pudieron ser los causantes del aumento o la disminución de minador de la hoja en los cafetales.

En cuanto al control de minador de la hoja los productores realizan aplicaciones homogéneas de productos químicos como lo es la Abamacina y la Ciromacina donde aplican dos veces por semestre, lo que genera un gasto a la producción, para lo que el si se hace uso de los mapas de infestación se podrían hacer aplicaciones dirigidas a solo las zonas de mayor infestación y de esta manera se tendría un ahorro económico y ambiental como se muestra en la Tabla 3. La Tabla anterior nos indica las dos aplicaciones realizadas en dos fechas importantes del ciclo del cultivo que son septiembre y octubre, donde el costo de la aplicación convencional llega a ser de 3,200 pesos por hectárea y la de precisión de 2080 pesos por hectárea, y así podemos contrastar el ahorro en pesos por hectárea.

Tabla 3. Ahorro económico y de producto químico, según la superficie infestada

Parcela	Muestreo	Amatepec					
		Costo en agricultura de precisión (pesos/ha)		Ahorro (pesos /ha)	Cantidad de insecticida aplicado en agricultura de precisión (l/ha)		Ahorro en acaricida (l/ha)
		Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
Avelino 1	Sept 01-02	1600	1024	576	2.7	1.728	0.972
	Oct-03, 04	1600	1008	592	2.7	1.701	0.999
	Total	3200	2032	1168	5.4	3.429	1.971
Avelino 2	Sept 01-02	1600	1088	512	2.7	1.836	0.864
	Oct-03, 04	1600	1056	544	2.7	1.782	0.918
	Total	3200	2144	1056	5.4	3.618	1.782

Tabla 3. Continuación

Parcela	Muestreo	Sultepec					
		Costo en agricultura de precisión (pesos/ha)		Ahorro (pesos/ha)	Cantidad de insecticida aplicado en agricultura de precisión (l/ha)		Ahorro en acaricida (l/ha)
		Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
Pedro	Sept 01-02	1600	1232	368	2.7	2.079	0.621
	Oct 03-04	1600	1216	384	2.7	2.052	0.648
	Total	3200	2448	752	5.4	4.131	1.269
Luis Sánchez Flores	Sept 01-02	1600	1264	336	2.7	2.133	0.567
	Oct 03-04	1600	1248	352	2.7	2.106	0.594
	Total	3200	2512	688	5.4	4.239	1.161

Tabla 3. Continuación

Parcela	Muestreo	Temascaltepec					
		Costo en agricultura de precisión (pesos/ha)		Ahorro (pesos / ha)	Cantidad de insecticida aplicado en agricultura de precisión (l/ha)		Ahorro en acaricida (l/ha)
		Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
La Mina	Sept 01-02	1600	1376	224	2.7	2.322	0.378
	Oct 03-04	1600	1360	240	2.7	2.295	0.405
	Total	3200	2736	464	5.4	4.617	0.783
La Cruz	Sept 01-02	1600	1056	544	2.7	1.782	0.918
	Oct 03-04	1600	1024	576	2.7	1.728	0.972
	Total	3200	2080	1120	5.4	3.51	1.89

La segunda parte de la tabla nos muestra la cantidad de agroquímico que se aplica de las dos maneras, al igual muestra el ahorro en producto que se puede tener en los dos tipos de aplicaciones, esto para el caso de Temascaltepec pero se puede visualizar también en los otros dos municipios, lo cual nos indica que si se realiza de una manera más dirigida a las zonas afectadas se puede llegar a tener un ahorro económico y de agroquímicos, así como lo mencionan Quiñones Valdez *et al.* (2020) en el comportamiento de roya en el cultivo de gladiolo reconociendo que si se conoce la distribución espacial de plagas o enfermedades se pueden dirigir de mejor manera las medidas de control generando dos principales tipos de ahorros.

Con el uso de estas tecnologías podemos encaminar la cafecultura del Estado de México a una reducción del impacto ambiental, ya que con la aplicación de estas técnicas se podrá reducir el uso de productos químicos y por lo tanto se tendrán productos más inocuos logrando así una sustentabilidad en la actividad.

Conclusión

Como conclusión del presente trabajo se puede decir que la utilización de la Geoestadística resulta ser eficaz para establecer el comportamiento de las poblaciones de minador de la hoja en cafetales del estado de México; así como mencionar que las poblaciones de minador de la hoja pueden llegar a presentar una estabilidad a corto plazo a través del tiempo, esto demostrado con los mapas realizados por la técnica del krigeado, que permitió lograr realizar mapas de infestación en los tres municipios para los 12 muestreos realizados. La temperatura resulta ser un factor influyente en el aumento de las poblaciones de minador de la hoja en los tres municipios del estado de México. Y finalmente hay que mencionar que con las técnicas de precisión que se utilizaron en el presente trabajo se puede realizar programas de manejo integrado de minador de la hoja donde se pueda abarcar varias tencas de control dentro de una misma unidad de producción.

Fuentes consultadas

Constantino, L. M., Flórez, J. C., Benavides, P., y Bacca, T. (2011). *Minador de las hojas del café Una plaga potencial por efectos del cambio climático*. CENICAFE. https://prod.senasica.gob.mx/SIRVEF/ContenidoPublico/Roya_cafeto/Fichas_tecnicas/Ficha_Técnica_de_Minador_de_la_hoja_del_cafeto.pdf

- Hevesi, J. A., Istok, J. D., y Flint, A. L. (1992). Estimación de precipitación en terreno montañoso mediante geoestadística multivariante. Parte I: Análisis Estructural. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 31, 661–676.
- Isaaks, E. H., y Srivastava, M. R. (1989). *Applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 0(0), 561.
- Maldonado, F. I., Ramirez, J. F., Lara, A. V., Acosta, D. A., Rivera, R., y Tapia Reyes, A. (2017). Mapeo de la distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en parcelas comerciales de aguacate Var. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México. *Ecosistemas*, 26(2), 52–60. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2017.26-2.06>
- Maldonado Zamora, F. I., Ramírez Dávila, J. F., Rubí Arriaga, M., Antonio Némiga, X., y Lara Díaz, A. V. (2017). Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 845. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.259>
- Minador de la hoja – Información – Panorama AGROPECUARIO (s/f). Recuperado el 4 de enero de 2021, de <https://panorama-agro.com/?p=1534>
- Moral García, F. J. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13(0), 78–86.
- Quiñones Valdez, R., Sánchez Pale, J. R., Castañeda Vildozola, Á., Franco Mora, O., Johansen Naime, R., y Mejorada Gómez, E. (2020). Comportamiento espacial y temporal de *Thrips simplex* Morison (Thysanoptera: Thripidae) en la región norte del Estado de México. *ACTA ZOOLOGICA MEXICANA (N.S.)*, 36(1), 1–15. <https://doi.org/10.21829/AZM.2020.3611161>
- Samper, F. J., y Carrera, J. (1996). Geoestadística, aplicaciones a la hidrogeología. *Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, España*, 484.
- Sayad, E., Boshkar, E., y Gholami, S. (2017). Different role of host and habitat features in determining spatial distribution of mistletoe infection. *Forest Ecology and Management*, 384, 323–330. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2016.11.012>
- Sciarretta, A., Trematerra, P., y Baumgärtner, J. (2001). Geostatistical Analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) Pheromone Trap Catches at Two Spatial Scales. *American Entomologist*, 47(0), 174–185.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (2016). Manca de Hierro *Mycosphaerella coffeicola* (Cooke) J. A Stevens y Wellman. Ficha Técnica No. 40. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

- Solares, V., Ramírez, J. F., y Sánchez, R. (2011). Distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle. 12 (2): 1-12.
- Tapia Rodríguez, A., Ramírez Dávila, J. F., Salgado Siclán, M. L., Castañeda Vildózola, Á., Maldonado Zamora, F. I., y Lara Díaz, A. V. (2020). Spatial distribution of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) in avocado in the State of Mexico, Mexico | Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(1), 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.07.004>
- Weisz, R., Fleischer, S., y Smilowitz, Z. (1996). Site-Specific Integrated Pest Management for High-Value Crops: Impact on Potato Pest Management. *J. Econ. Entomol.*, 89(2), 501–509. <https://academic.oup.com/jee/article/89/2/501/2216461>

Comportamiento espacial de ojo de gallo *Mycena citricolor*, en cafetales del municipio de Sultepec; Estado de México

Esther Pino Miranda¹
José Francisco Ramírez Dávila²
Rodolfo Serrato Cuevas²
Jaime Mejía Carranza³

Introducción

El café es una de las bebidas más populares del mundo. Se dice que el café fue descubierto en Etiopía y llegó a México a finales del siglo XVI-II. El café durante muchos años fue considerado una bebida prohibida debido a su color, y el sabor tan fuerte que lo caracteriza, fue hasta que se supo de los beneficios del café que fue aceptado como bebida de consumo (SADER, 2015).

México es considerado como uno de los principales países productores de café orgánico del mundo, destinando 3.24% del total de la superficie cultivada de este producto, exporta 28,000 toneladas, además de tener 15 estados productores de café; al sur del país, Chiapas es el principal estado productor, aporta aproximadamente 41% del volumen nacional, seguido por Veracruz 24% y Puebla 15.3%. El país cuenta con un enorme potencial en la producción de café. De hecho, puede afirmarse que las condiciones ecológicas que se registran en las diferentes zonas productoras, le dan al país una vocación natural para el cultivo del aromático (SIAP, 2020). En el último par de años, el café mexiquense ha tenido un gran repunte, tanto en su producción como en su demanda. Actualmente, se registran cerca de 600 productores de café en la entidad, una superficie de alrededor de 531 hectáreas cultivadas Siendo los municipios de: San Simón de Guerrero, Tejupilco, Temascaltepec, Tlat-

¹ Estudiante del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. De la Universidad autónoma del Estado de México. Campus Experimental el Cerrillo. El Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carr. Toluca - Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo, C.P. 50200; Toluca, Estado de México.

² Profesores e investigadores de la Facultad de Ciencias Agrícolas UAEMéx. Campus Experimental el Cerrillo. El Cerrillo Piedras Blancas s/n km 15 Carr. Toluca - Ixtlahuaca, entronque al Cerrillo, C.P. 50200; Toluca, Estado de México.

³ Profesor investigador del Centro Universitario UAEM Tenancingo. Carretera Tenancingo-Villa Guerrero. Km. 1.5. CP.5200.

laya, Sultepec, Amatepec y Tepetlixpa, donde más se produce puesto que son lugares con las características necesarias para una producción orgánica (SIAP, 2021).

A pesar de la relevancia del café, en México los productores generalmente enfrentan una serie de problemas que afectan directamente sus condiciones de vida, la productividad y la calidad del café que producen. Debido a la diversidad de condiciones de cultivo del café, existen problemas de plagas y enfermedades que afectan de manera diferente a los productores, según cada estado, región o municipio de que se trate (Ejecutivo, 2015). Una de las dificultades fitosanitarias de los cafetos es provocada por la enfermedad comúnmente conocida como Ojo de gallo, ocasionada por el hongo *Mycena citricolor*, observándose en plantaciones localizadas en rangos altitudinales entre los 900 a 1700 metros sobre el nivel del mar, condiciones de alta humedad relativa y temperaturas entre 20-22 °C, favorecen un acelerado incremento de la enfermedad; esta inicia paralelamente a las lluvias. El hongo sobrevive en lesiones que se observan sobre las hojas maduras, esporádicamente en frutos enfermos que quedan en la planta, dichas lesiones son de formato circular de color gris ceniza, de aspecto seco y aproximadamente de medio centímetro de diámetro (Anacafé, 2017). El mecanismo exacto del desarrollo de la infección de *Mycena citricolor* no está claro, sin embargo, se considera que la gema libera hacia la lámina foliar ácido oxálico que cambia el pH e induce la producción de enzimas que degradan las paredes celulares. Una vez establecido el hongo dentro de la planta, posiblemente utiliza el metabolismo de la misma para alimentarse, degradando la energía metabólica contenida en los carbohidratos de reserva, como sucede con otro tipo de hongos. Estudios preliminares de Vargas señalan que se requiere dos días desde la llegada de la gema a la lámina foliar hasta el desarrollo visual de la lesión, posteriormente entre 8 y 11 días para la formación de nuevas gemas con una temperatura diurna de 21.5°C y una nocturna de 18 °C con 90% de humedad relativa y luminosidad de 760 lux (SENASICA, 2014).

Se tienen pocos datos de las pérdidas causadas por esta enfermedad. En Puerto Rico se estimaron pérdidas del 75% en algunas áreas. Posteriormente, en Costa Rica se estimó que, de las 110,000 hectáreas de café sembradas, entre 10 y 15% están afectadas por ojo de gallo, lo que representó pérdidas por 10 millones de dólares a la caficultura nacional. En Guatemala, se reporta una incidencia de 49%, las pérdidas primarias (primer año de aparición de la enfermedad) (SAGARPA, 2014).

En México, algunos cafetales se encuentran infectados con *Mycena citricolor*, con una incidencia del 30%. Las precipitaciones altas se asocian con la aparición del ojo de gallo, principalmente entre marzo y mayo. La enfermedad es monitoreada desde 2017 por el Programa de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria del Estado de México (SENASICA, 2017).

La geoestadística se refiere al conjunto de técnicas estadísticas utilizadas para el estudio de variables numéricas distribuidas en el espacio. Para Journel y Huijbregts (1978), es simplemente la aplicación de la teoría de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales. La geoestadística se ha convertido en una herramienta útil para explicar la variación de propiedades en el espacio y su uso se ha generalizado recientemente donde se analizan hechos geográficos, debido a la posibilidad de conocer, entre otros, el rango de influencia de la propiedad, estimar su valor en sitios donde no existe información y, por último, calcular el error de la estimación efectuada (González, 2007). El estudio tuvo como objetivo recolectar datos que permitieron comprender la distribución espacial y las densidades poblacionales de *Mycena citricolor*, en cultivos de café del Municipio de Sultepec; Estado de México.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en el municipio de Sultepec, siendo uno de los principales productores de café ubicado al sur del Estado de México. El muestreo se conformó por 6 parcelas con un área de 5,000 m², que contenían cafetos de las variedades *Typica* y *Caturra*, un sombreado que varió entre el 30 y 60% de la superficie total, en la mayoría de las parcelas el manejo de podas tanto en árboles de sombra como en los cafetos no se llevó a cabo, el tipo de producción de todas las parcelas fue convencional. Para la toma de muestras, las parcelas se dividieron en cuadrantes de diez por diez metros, obteniendo un total de cincuenta cuadrantes, de los cuales se seleccionaron cuatro árboles al azar, dando un total de 200 árboles, los cuales fueron marcados y georreferenciado con el Sistema de Posicionamiento Global Diferencial (DGPS) modelo Trimble SPS361, para ubicar y muestrear las mismas plantas durante el levantamiento de datos. Para el muestreo de la enfermedad Ojo de gallo se seleccionó una rama por punto base y de cada rama se tomaron tres hojas, esto se hizo en los estratos inferior, medio y superior de la planta, se muestrearon 12 hojas por estrato, para un total de 36 hojas por cafeto. Posteriormente, se indicó el número de hojas que presentaron la enfer-

medad y los datos recopilados se ingresaron en una base de datos. Este proceso se realizó cada 14 días desde septiembre del 2020 hasta febrero del 2021.

Estadística clásica

En la investigación se utilizaron los dos métodos que generalmente establecen la distribución espacial de los individuos, binomial negativa y Poisson e índices de dispersión (de Dispersión y de Green). El modelo binomial negativo negativos son probablemente las distribuciones más utilizadas para modelar fenómenos de agrupamiento, es decir, poblaciones infecciosas o agrupadas (Espinoza *et al.*, 2019). Con los resultados obtenidos se obtuvo el tipo de distribución que presenta Ojo de gallo dentro de las parcelas. Posteriormente, los resultados obtenidos mediante estos métodos estadísticos clásicos se compararon con los obtenidos mediante estadística espacial.

Análisis Geoestadísticos

El análisis geoestadístico se conformó de los siguientes pasos: a) estimación de semivariograma; b) estimación de los parámetros de semivariograma; y c) estimación de la distribución espacial utilizando puntos a través de kriging (Esquivel y Jasso, 2014).

Estimación del semivariograma

Se llevó a cabo con los datos recopilados en los sitios de muestreo del Municipio. El valor experimental del semivariograma se calculó según la siguiente fórmula: (Isaaks y Srivastava, 1988).

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2NN(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z x_i]^2$$

donde: $\gamma^*(h)$ es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h . $N(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestreo x_i , y $z(x_i + h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral $x_i + h$ (Esquivel y Jasso, 2014). Estimación del Semivariograma experimental de cada uno de los muestreos, se em-

pleó el programa Variowin 2.2 (software para análisis de datos espaciales en 2D. Spring Verlag, Nueva York; USA.). El semivariograma experimental se adecuó a algún semivariograma teórico. Los modelos teóricos comúnmente usados para adecuar los semivariogramas experimentales son: esférico, exponencial, gaussiano, logarítmico, efecto pepita puro, efecto agujero y el monómico (Rivera *et al.*, 2017).

Validación del modelo teórico

En este punto se estimaron las diferencias entre valores experimentales y estimados con los estadísticos de validación cruzada (Hevesi *et al.*, 1992; Isaaks y Srivastava, 1989). Los parámetros a validar fueron (efecto pepita, meseta y rango) se modificaron con el procedimiento de ensayo y error hasta obtener estadísticos de validación cruzada adecuados.

Nivel de dependencia espacial

Se calculó con el fin de determinar la fuerza de la relación entre los datos obtenidos en los muestreos. El valor se consigue al dividir el efecto pepita entre la meseta, expresado en porcentaje: menor a 25% es alta, entre 26 y 75% es moderada y superior al 76% bajo (Lara *et al.*, 2018).

Elaboración de mapas

Se realizó mediante la interpolación de valores a través del “krigeado” ordinario que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados. Las estimaciones obtenidas fueron representadas en forma de mapa para cada parcela muestreada utilizando el programa Surfer 16.0 (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA).

Superficie infectada

Para lograr esto, se utilizó el programa Surfer16.0. (Surface Mapping System, Golden Software Inc. 809, 14th Street. Golden, Colorado 80401-1866. USA). donde se obtuvo el porcentaje real y la superficie en la cual se encuentra la enfermedad dentro de los mapas elaborados.

Ahorro económico

Esta parte del ahorro económico se logró conociendo la superficie infecta por el hongo, realizando cálculos numéricos donde se elaboraron

tablas donde se muestra la proporción de aplicaciones de agroquímicos en virtud al porcentaje real de infección. Asimismo, se realizó una estimación para lograr ahorros ecológicos al reducir el uso de químicos.

Resultados y discusión

A los datos obtenidos en los diferentes muestreos se les aplico métodos estadísticos clásicos y geoestadísticos para determinar el tipo de comportamiento espacial que presenta *Mycena citricolor* dentro de cada una de las parcelas monitoreadas. Los resultados obtenidos por cada método se discuten en una sección específica.

Estadística clásica

El Cuadro 1 muestra el tipo de distribución espacial que presenta ojo de gallo en cada una de las parcelas muestreadas dentro del municipio de Sultepec; en el caso del apartado del índice de dispersión se observan valores superiores a uno en la mayoría de los muestreos realizados, de igual forma existen cifras menores a uno (coloreados en rojo), Ramírez y Figueroa (2013) indicaron en su estudio que se presenta una distribución agregada cuando se obtienen valores mayores a uno, pero al presentar valores inferiores indica una distribución espacial aleatoria. Para el índice de Green en las parcelas mostro valores mayores a cero (agregados) y valores igual a cero (aleatoriedad), los autores Malhado y Petreire (2004) señalaron que este es el índice discreto más adecuado, sin embargo, tiene una desventaja, que no cuenta con varianza, lo que impide el cálculo de límites de significancia, y por lo tanto no es factible la representación de puntos agregados.

Con los modelos de distribución de Poisson (aleatorio) y Binomial negativa (agregados), se obtuvieron algunos resultados (coloreados en rojo) significativos (S) para ambos modelos indicando que se presentan ambas distribuciones para el mismo muestreo y en algunos otros no se ajustó (NA) para ninguno de los modelos. En los resultados coloreados en negro fueron no significativos (NS) para Poisson, pero significativos (S) para Binomial negativa indicando una distribución agregada en aquellos muestreos. Silva *et al.* (2016) indica que el modelo binomial negativo es probablemente la distribución más utilizada para modelar fenómenos de agrupamiento (es decir, poblaciones infecciosas o agrupadas).

Cuadro 1. Tablas de los índices de dispersión y distribuciones estadísticas de *Mycena citricolor*; de las 6 parcelas del municipio de Sultepec. A) Parcela 1

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
Sep-1	0.54ns	0.52	NS	S	7.25
Sept-2	2.64s	0	NA	NA	-
Oct-1	1.79s	0.15	NS	S	1.06
Oct-2	1.50s	0.68	NS	S	2.87
Nov-1	2.33s	0	NS	S	1.35
Nov-2	0.79ns	0.53	NS	S	4.70
Dic-1	1.94s	0	NS	S	8.39
Dic-2	2.07s	0.93	NS	S	3.06
Ene-1	1.28s	0.61	NS	S	8.44
Ene-2	1.16s	0.23	NA	NA	-
Feb-1	1.71s	0.48	NA	NA	-
Feb-2	0.37ns	0.66	NS	S	6.14

S = Significativa; NS = No Significativa; nivel de significación al 5%; NA = No Ajustada. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Cuadro 1. Continuación. B) Parcela 2

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
Sep-1	1.62s	0.31	NS	S	3.24
Sept-2	1.94s	0	NA	NA	-
Oct-1	1.26s	0.95	NS	S	6.65
Oct-2	1.09s	0.63	NS	S	2.90
Nov-1	1.53s	0	S	S	33.61
Nov-2	2.75s	0.32	S	S	41.07
Dic-1	0.83ns	0.64	NS	S	8.12
Dic-2	1.48s	0.82	NS	S	10.77
Ene-1	0.65ns	0.80	NA	NA	-
Ene-2	2.39s	0.47	NS	S	6.40
Feb-1	1.76s	0.24	NS	S	3.17
Feb-2	2.97s	0.15	NS	S	9.03

S = Significativa; NS = No Significativa; nivel de significación al 5%; NA = No Ajustada. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Cuadro 1. Continuación. C) Parcela 3

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
Sep-1	1.66s	0.21	NS	S	4.05
Sep-2	2.79s	0.64	NS	S	1.11
Oct-1	0.67s	0.76	S	S	29.57
Oct-2	2.14s	0.44	NS	S	3.74
Nov-1	2.73s	0.19	NS	S	2.03
Nov-2	0.22s	0	NS	S	8.47
Dic-1	1.44s	0.94	S	S	38.17
Dic-2	1.82s	0.52	NS	S	6.18
Ene-1	2.79s	0	NS	S	10.31
Ene-2	2.33s	0.61	NS	S	2.55
Feb-1	1.69s	0.18	NS	S	3.84
Feb-2	0.58s	0.85	NS	S	7.26

S = Significativa; NS = No Significativa; nivel de significación al 5%; NA = No Ajustada. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Cuadro 1. Continuación. D) Parcela 4

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
Sep-1	2.34s	0.92	S	S	40.16
Sep-2	2.16s	0.35	NS	S	5.45
Oct-1	2.11s	0	NS	S	1.26
Oct-2	1.68s	0.49	NS	S	6.89
Nov-1	1.41s	0.12	NS	S	2.41
Nov-2	1.77s	0	NS	S	5.02
Dic-1	2.68s	0	NA	NA	-
Dic-2	0.53s	0.37	NS	S	7.14
Ene-1	1.80s	0.59	NS	S	8.15
Ene-2	1.57s	0	NA	NA	-
Feb-1	0.49s	0.25	NS	S	3.13
Feb-2	1.84s	0.40	NS	S	1.07

S = Significativa; NS = No Significativa; nivel de significación al 5%; NA = No Ajustada. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Cuadro 1. Continuación. E) Parcela 5

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
Sep-1	1.58s	0.84	S	S	28.51
Sep-2	1.82s	0.21	NS	S	10.05
Oct-1	1.90s	0.36	S	S	38.58
Oct-2	2.44s	0.49	NS	S	7.23
Nov-1	0.66ns	0.77	NS	S	4.11
Nov-2	1.27s	0	NS	S	2.87
Dic-1	2.13s	0.35	NS	S	1.43
Dic-2	0.79ns	0.72	NA	NA	-
Ene-1	2.78s	0.96	NS	S	2.07
Ene-2	1.59s	0	NS	S	1.76
Feb-1	2.52s	0.75	NS	S	0.58
Feb-2	0.25ns	0.52	NS	S	1.33

S = Significativa; NS = No Significativa; nivel de significación al 5%; NA = No Ajustada. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Cuadro 1. Continuación. F) Parcela 6

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
Sep-1	1.25s	0	NS	S	2.19
Sep-2	1.79s	0.51	NS	S	0.46
Oct-1	1.34s	0.88	NA	NA	-
Oct-2	0.67ns	0	NS	S	1.76
Nov-1	2.78s	0.62	NA	NA	-
Nov-2	0.52ns	0.57	NS	S	3.44
Dic-1	2.91s	0.21	NS	S	6.01
Dic-2	2.55s	0.94	NS	S	5.42
Ene-1	0.31ns	0.68	NS	S	2.85
Ene-2	1.30s	0.73	NS	S	1.08
Feb-1	2.11s	0.65	S	S	28.32
Feb-2	1.44s	0.81	NS	S	0.87

S = Significativa; NS = No Significativa; nivel de significación al 5%; NA = No Ajustada. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

En el último índice k se observan valores que van desde 0.46 a 41.07, de acuerdo a Ramírez y Figueroa (2013) mencionan que el factor k es un indicador de agregación débil cuando los valores son elevados.

La estadística clásica muestra limitaciones debido a que algunos de los datos obtenidos no son claros y en algunos casos los mismos muestreos presentan ambos tipos de distribuciones (aleatoria y agrupada) o no se ajustan a ningún tipo de distribución (Espinoza *et al.*; 2019).

Estadística espacial

Se realizaron 72 modelos de semivariogramas que abarcaron cada uno de los muestreos realizados de septiembre 2020 a febrero 2021. En el Cuadro 2 se muestran las seis parcelas de estudio, se observa que para la parcela 1 la mayoría de los muestreos se ajustó a un modelo esférico excepto para los muestreos de Septiembre 1 y Noviembre 2 que se adaptaron al modelo gaussiano; para el caso de la parcela 2 solo el muestreo de Febrero 2 presentó un modelo gaussiano y para la otra totalidad fue esférico; en la parcela 3 gran parte de los muestreos se adecuaron al tipo esférico, solo Noviembre 2 y Diciembre 2 fueron gaussianos; la parcela 4 en Noviembre 2 y Diciembre 1 presentaron ajustes gaussianos y la otra parte presentaron modelos esféricos; por último la totalidad de los muestreos de las parcelas 5 y 6 se adaptaron a modelos esféricos. Ramírez *et al.* (2011) explican que los modelos esféricos y gaussianos muestran que la enfermedad se propaga desde una fuente primaria de inóculo, que se representa espacialmente en un patrón agregado. Los agregados obtenidos indican áreas dentro de la parcela donde la enfermedad provocada por *Mycena citricolor* se manifiesta con mayor intensidad en comparación con el resto de los puntos muestreados. Tapia *et al.* (2020) mencionan en su estudio de antracnosis en cultivo de aguacate, que los modelos de tipo gaussiano permiten explicar la variabilidad y la capacidad de diseminación de las enfermedades, es decir, que la aparición de la enfermedad en un árbol llevó a la infección de los árboles aledaños. En cuanto a los parámetros de ajuste que permiten la validación del modelo, es conveniente mencionar la importancia del rango, ya que explica el grado de correlación entre los datos muestreados, el efecto pepita que simboliza el origen del semivariograma, y la meseta es el mayor punto de intersección entre los datos; el grado de dependencia espacial se obtiene dividiendo el efecto pepita por la meseta, y el resultado es representado en porcentaje (Tapia *et al.*, 2020).

Cuadro 2. Tablas de los Parámetros del semivariograma de los muestreos por parcela de *Mycena citricolor* de septiembre 2020 a febrero 2021 del municipio de Sultepec. Parcela 1

Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
Sep-1	10.72	43.2980904523	Gaussiano	0	34.16	10.24	0	Alta
Sep-2	10.25	37.0125628141	Esférico	0	34.04	13.44	0	Alta
Oct-1	9.635	32.293241206	Esférico	0	29.37	12.8	0	Alta
Oct-2	9.36	29.2868341709	Esférico	0	27	12.8	0	Alta
Nov-1	8.845	25.1869095477	Esférico	0	22.2803	13.44	0	Alta
Nov-2	8.56	22.9009045226	Gaussiano	0	20.9292	10.24	0	Alta
Dic-1	8.02	19.4066331658	Esférico	0	17.6	14.912	0	Alta
Dic-2	7.885	18.1123366834	Esférico	0	16.6472	12.8	0	Alta
Ene-1	7.42	16.3654271357	Esférico	0	17.6	12.8	0	Alta
Ene-2	7.3	15.1859296482	Esférico	0	13.92	13.44	0	Alta
Feb-1	6.92	12.7473366834	Esférico	0	11.7	14.08	0	Alta
Feb-2	6.715	11.3203768844	Esférico	0	10.56	12.6	0	Alta

S= Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.
-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo.

Cuadro 2. Continuación. Parcela 2

Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
Sep-1	4.94	25.0215075377	Esférico	0	24	13.666	0	Alta
Sept-2	4.89	23.947638191	Esférico	0	22.08	13.664	0	Alta
Oct-1	4.695	20.8160552764	Esférico	0	19.1583	13.23	0	Alta
Oct-2	4.64	19.5883417085	Esférico	0	17.8	13.86	0	Alta
Nov-1	4.45	17.1532663317	Esférico	0	15.84	15.071	0	Alta
Nov-2	4.335	15.7113316583	Esférico	0	14.4	13.326	0	Alta
Dic-1	4.215	14.3304271357	Esférico	0	13.65	10.71	0	Alta
Dic-2	4.15	13.5954773869	Esférico	0	13.02	10.613	0	Alta
Ene-1	4.02	12.2508542714	Esférico	0	12.09	10.951	0	Alta
Ene-2	3.975	11.8737437186	Esférico	0	11.64	13.666	0	Alta
Feb-1	3.785	10.4409798995	Esférico	0	9.504	9.6411	0	Alta
Feb-2	3.74	10.1833165829	Gaussiano	0	9.6	8.19	0	Alta

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.
 -1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo.

Cuadro 2. Continuación. Parcela 3

Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
Sep-1	11.325	48.9038944724	Esférico	0	43.12	14.08	0	Alta
Sept-2	11.14	45.0054271357	Esférico	0	40.5	14.72	0	Alta
Oct-1	10.71	40.1265326633	Esférico	0	38	13.981	0	Alta
Oct-2	10.49	36.1808040201	Esférico	0	34.2	13.44	0	Alta
Nov-1	9.905	29.7044974874	Esférico	0	27	10.88	0	Alta
Nov-2	9.62	25.6940703518	Gaussiano	0	24.44	10.24	0	Alta
Dic-1	9.145	21.732638191	Esférico	0	19.14	14.72	0	Alta
Dic-2	8.89	18.9526633166	Gaussiano	0	16.72	10.877	0	Alta
Ene-1	8.15	13.4748743719	Esférico	0	12.18	14.08	0	Alta
Ene-2	7.6	9.00502512563	Esférico	0	12.18	14.08	0	Alta
Feb-1	7.285	7.36057788945	Esférico	0	6.586	14.030	0	Alta
Feb-2	7.12	6.5583919598	Esférico	0	5.87378	14.08	0	Alta

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.

-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo.

Cuadro 2. Continuación. Parcela 4

Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
Sep-1	5.515	25.0248994975	Esférico	0	22.25	14.08	0	Alta
Sept-2	5.545	21.4753517588	Esférico	0	18.48	15.36	0	Alta
Oct-1	5.285	18.8279145729	Esférico	0	17.2317	13.44	0	Alta
Oct-2	5.14	17.3471356784	Esférico	0	15.12	12.8	0	Alta
Nov-1	4.855	14.8180653266	Esférico	0	13.35	14.72	0	Alta
Nov-2	4.74	13.8516582915	Gaussiano	0	13.02	14.72	0	Alta
Dic-1	4.54	12.279798995	Gaussiano	0	11.31	14.72	0	Alta
Dic-2	4.41	11.2883417085	Esférico	0	10.44	14.72	0	Alta
Ene-1	4.17	10.0011055276	Esférico	0	9.2	12.8	0	Alta
Ene-2	4.06	9.22251256281	Esférico	0	9.016	13.44	0	Alta
Feb-1	3.825	8.08479899497	Esférico	0	8.019	10.24	0	Alta
Feb-2	3.655	7.21203517588	Esférico	0	7.056	9.4528	0	Alta

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.
-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo.

Cuadro 2. Continuación. Parcela 5

Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
Sep-1	10.275	32.1702261307	Esférico	0	30.69	13.44	0	Alta
Sept-2	10.01	29.236080402	Esférico	0	27.6	12.8	0	Alta
Oct-1	9.44	25.1421105528	Esférico	0	23.8403	12.8	0	Alta
Oct-2	9.125	22.5420854271	Esférico	0	16.2414	14.08	0	Alta
Nov-1	8.555	19.2029899497	Esférico	0	18.0307	14.08	0	Alta
Nov-2	8.28	17.0870351759	Esférico	0	16.2	14.72	0	Alta
Dic-1	7.775	14.3662060302	Esférico	0	13.5	14.08	0	Alta
Dic-2	7.55	12.8819095477	Esférico	0	12.22	13.44	0	Alta
Ene-1	7.08	10.9583919598	Esférico	0	10.2894	12.8	0	Alta
Ene-2	6.855	9.73263819095	Esférico	0	9.07338	13.44	0	Alta
Feb-1	6.515	8.51233668342	Esférico	0	7.69227	10.24	0	Alta
Feb-2	6.33	7.95085427136	Esférico	0	7.69227	10.24	0	Alta

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.

-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo.

Cuadro 2. Continuación. Parcela 6

Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
Sep-1	9.87	36.6664321608	Esférico	0	34.78	12.16	0	Alta
Sep-2	9.825	31.300879397	Esférico	0	29.5136	12.8	0	Alta
Oct-1	9.15	29.243718593	Esférico	0	27.115	12.8	0	Alta
Oct-2	8.925	26.8737437186	Esférico	0	25.11	12.16	0	Alta
Nov-1	8.4	23.0653266332	Esférico	0	21.39	11.52	0	Alta
Nov-2	8.21	21.0310552764	Esférico	0	19.95	12.16	0	Alta
Dic-1	7.63	17.6815075377	Esférico	0	16.34	13.44	0	Alta
Dic-2	7.35	15.4547738693	Esférico	0	14.72	13.44	0	Alta
Ene-1	6.955	12.9376633166	Esférico	0	12.22	12.8	0	Alta
Ene-2	6.585	11.2389698492	Esférico	0	10.68	13.44	0	Alta
Feb-1	6.235	9.61786432161	Esférico	0	8.97984	12.16	0	Alta
Feb-2	6.075	8.70288944724	Esférico	0	8.31198	19.2	0	Alta

S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.

-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo.

El efecto pepita para cada uno de los muestreos fue de cero, que, de acuerdo a Venegas *et al.* (2021) indica que la escala de muestreo utilizada fue la correcta y el error de muestreo fue de 0. El rango osciló entre los 8.19 como mínimo y 19.2 como máximo. Finalmente, la dependencia espacial de todas las muestras dentro de la parcela de estudio es alta, lo que indica que ojo de gallo tiene una fuerte dependencia espacial; se considera que una variable tiene una fuerte correlación espacial si su valor es menor al 25%; si los valores se encuentran entre 25 y 75% se considera que la variable tiene correlación espacial moderada, en caso contrario la variable tiene correlación espacial débil (Espinoza *et al.*, 2019).

Mapas de densidad

Los 72 mapas obtenidos de la superficie infectada se generaron a través del Krigeado, para estimar los porcentajes de superficie infectada y los valores asociados a puntos no muestreados. En los mapas obtenidos se puede observar la superficie infectada por *Mycena citricolor* en las distintas parcelas estudiadas (Figura 1); señalando que la población de ojo de gallo está repartida en puntos céntricos de agregación, los cuales se conservaron en el tiempo que perduraron los muestreos, señalando que la enfermedad se encuentra en la zona de forma persistente y que está latente esperando las condiciones climáticas apropiadas para multiplicarse (Carvajal 1939, Ramírez 1994, Avelino *et al.*, 1999). En las parcelas el color rojo y azul indica mayor presencia de la enfermedad en los cafetos y el blanco señala la ausencia, mostrando que no existe una infección del cien por ciento de ojo de gallo dentro del cultivo. Los puntos de agregación se observan con mayor vista en los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre, disminuyendo en los siguientes meses debido al inicio de la temporada de sequías en el municipio. Tapia *et al.* (2020) menciona que los parches de infección presentes en los mapas, son los principales focos de infección de donde surge la enfermedad y desde donde se distribuye a toda la zona muestreada. Ramírez y Porcayo (2010), Tapia *et al.* (2020); concluyen en cada uno de sus estudios respectivamente sobre distribución espacial, que los mapas geoestadísticos obtenidos muestran ser adecuados y eficientes para el estudio del comportamiento espacial.

Figura 1. Mapas de infección de ojo de gallo en cafetales del municipio de Sultepec. A) Parcela 1

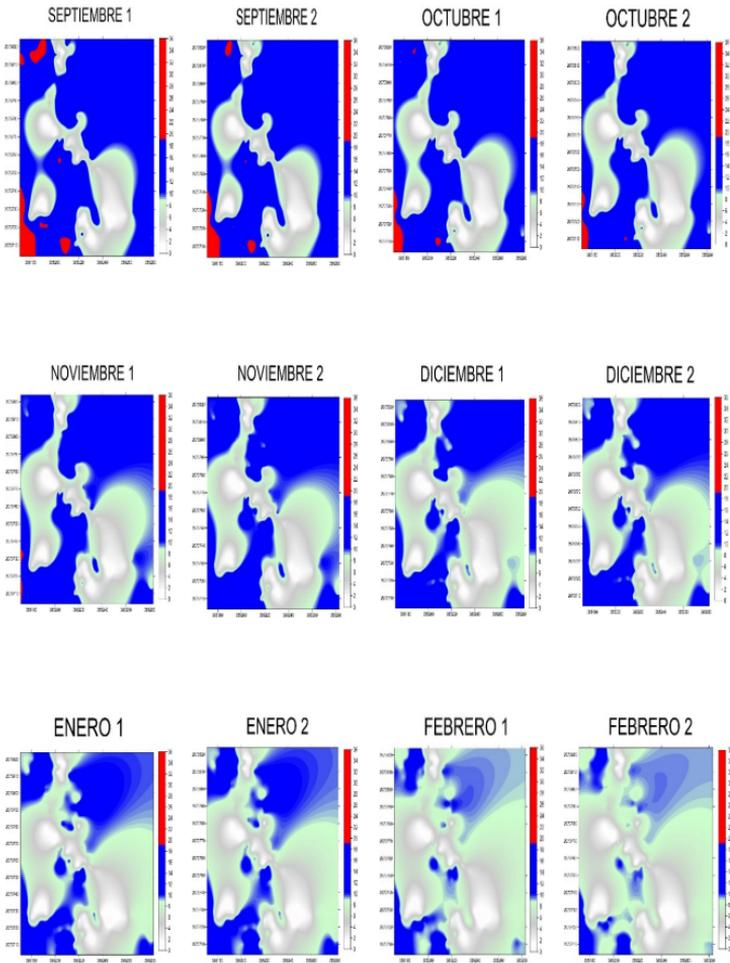


Figura 1. Continuación. Municipio de Sultepec. B) Parcela 2

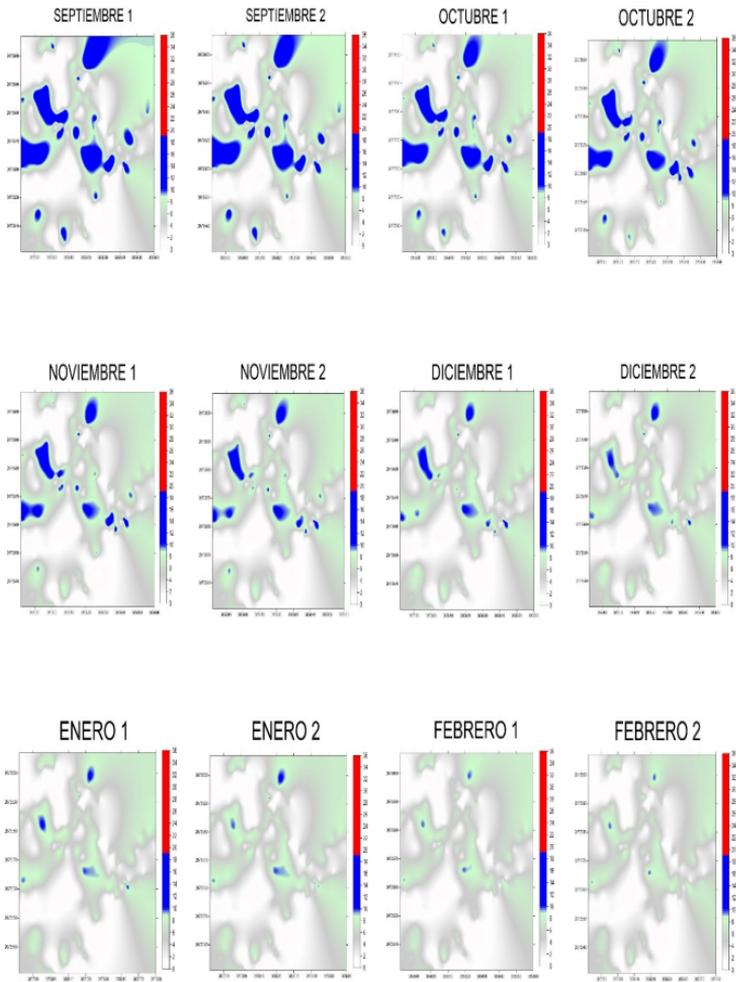


Figura 1. Continuación. Municipio de Sultepec. C) Parcela 3

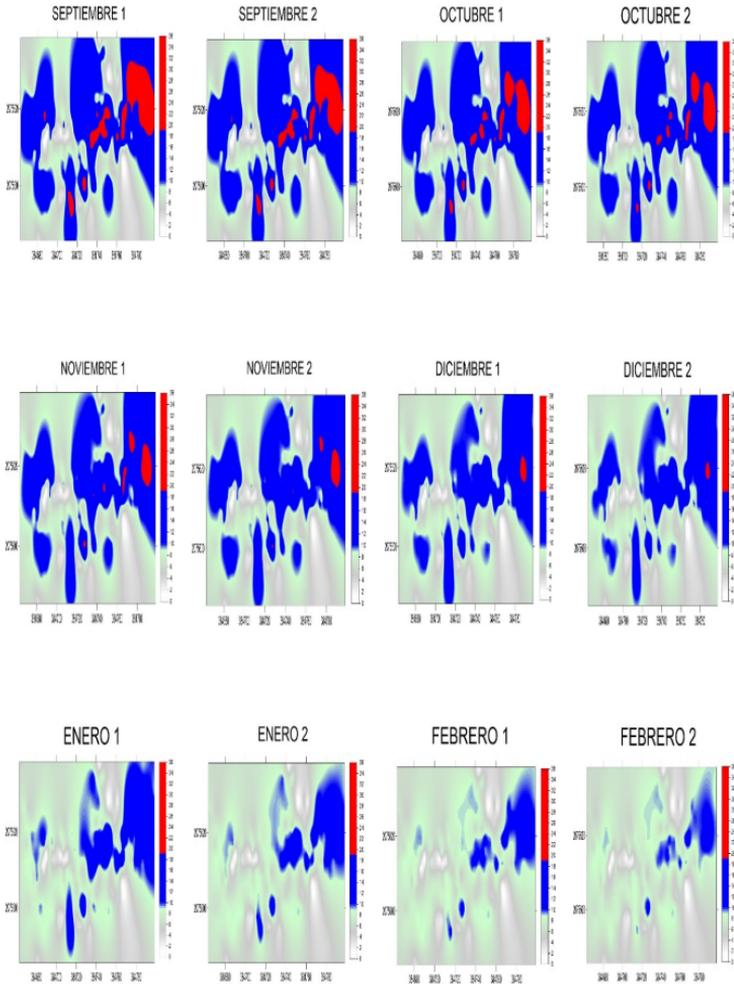


Figura 1. Continuación. Municipio de Sultepec. D) Parcela 4

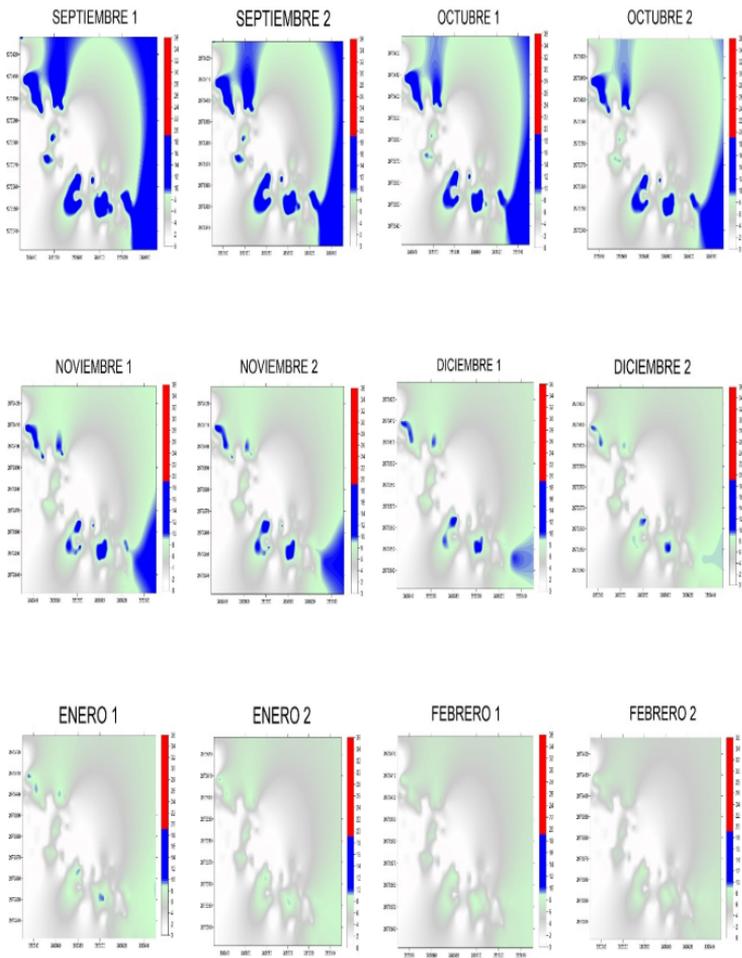


Figura 1. Continuación. Municipio de Sultepec. E) Parcela 5

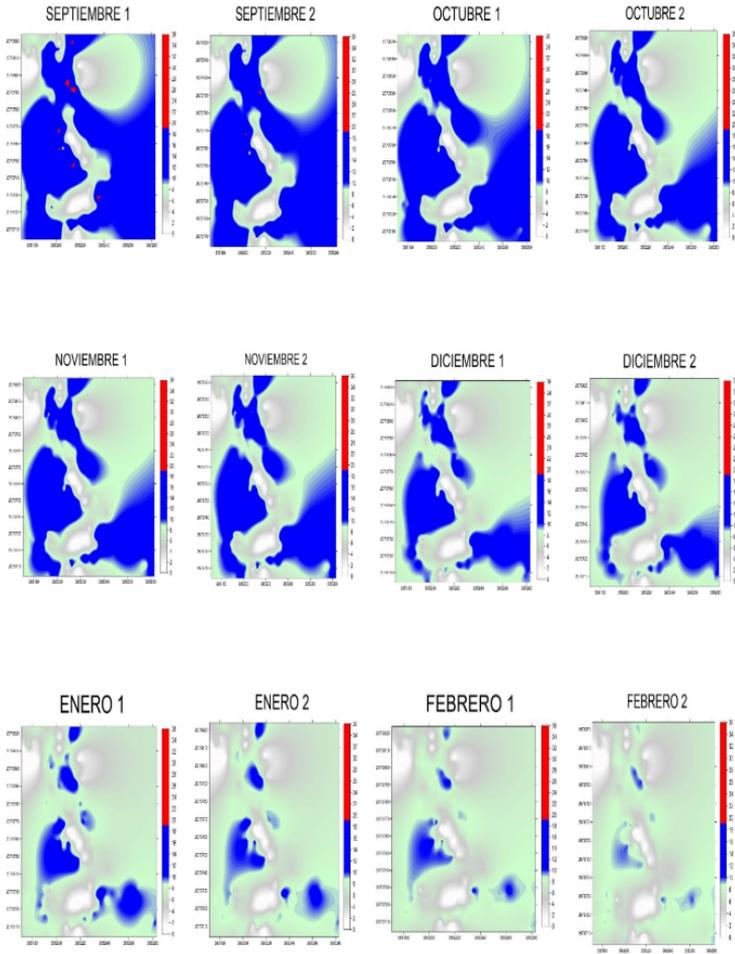


Figura 1. Continuación. Municipio de Sultepec. F) Parcela 6

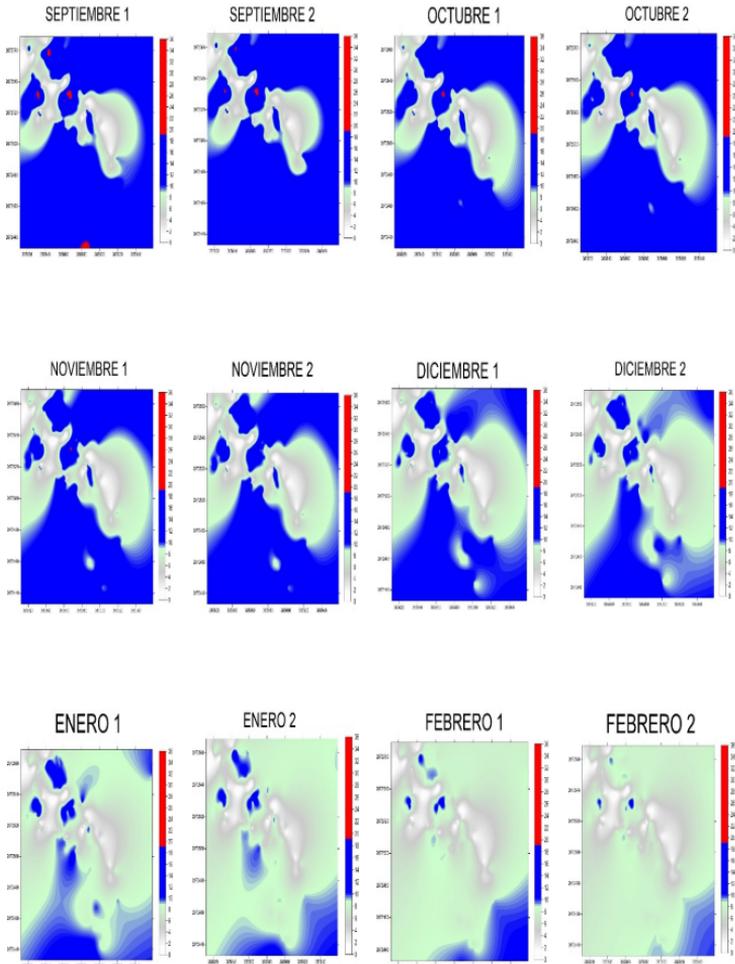
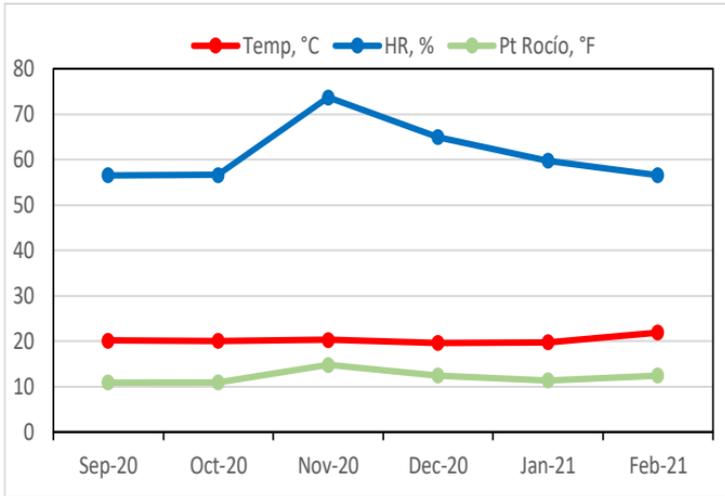


Figura 2. Gráfico de las condiciones climáticas (Temperatura °C, Humedad relativa HR % y Punto de Rocío Pt Rocío °F) de los meses de septiembre 2020 a febrero 2021 del municipio de Sultepec



Superficie infectada

El porcentaje de la infección para las parcelas de Sultepec inicio con un 86 % y disminuyó a 62% Cuadro. 3 durante el tiempo que duro el estudio. Afirmando que los meses de septiembre a diciembre cuentan con el porcentaje más alto de ojo de gallo, esto debido a que en estos meses la temperatura oscilo en los 20 °C, la humedad relativa se presentó en valores de 56%, 57%, 73 % y 65%. Por último se observó un rocío de 11, 15 y 13 °F (Figura 2). Rivillas y Castro (2011) mencionan en el manual emitido por Cenicafé que la enfermedad se propaga a partir de las estructuras reproductivas del hongo, que pueden dispersarse principalmente por acción del agua y el viento. Su formación depende de la presencia de luz, con la máxima producción de cabecitas y pigmento amarillo de las mismas (Wang y Avelino, 1999).

Para el caso de los meses de enero y febrero se observaron valores en la temperatura entre 20 y 22 °C, una humedad relativa un poco variable de 60 y 57% y un punto de rocío de, 11 y 12 °F. Se observa que la humedad es más baja en estos dos meses indicando el inicio de la temporada de sequias en la zona, provocando una disminución en los puntos de agregación de la enfermedad en cada una de las parcelas.

Cuadro 3. Tablas de la superficie infectada de *Mycena citricolor* por parcela de septiembre del 2020 a febrero del 2021; del municipio de Temascaltepec.
A) Parcela 1

Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %
Sep-1	79	21
Sep-2	79	21
Oct-1	79	21
Oct-2	80	20
Nov-1	81	19
Nov-2	78	22
Dic-1	78	22
Dic-2	77	23
Ene-1	77	23
Ene-2	77	23
Feb-1	76	24
Feb-2	76	24

-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Cuadro 3. Continuación. B) Parcela 2

Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %
Sep-1	64	36
Sep-2	64	36
Oct-1	65	35
Oct-2	65	35
Nov-1	65	35
Nov-2	66	34
Dic-1	66	34
Dic-2	66	34
Ene-1	64	36
Ene-2	63	37
Feb-1	63	37
Feb-2	62	38

-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Cuadro 3. Continuación. C) Parcela 3

Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %
Sep-1	85	15
Sep-2	85	15
Oct-1	85	15
Oct-2	86	14
Nov-1	86	14
Nov-2	86	14
Dic-1	86	14
Dic-2	84	16
Ene-1	84	16
Ene-2	84	16
Feb-1	84	16
Feb-2	83	17

-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Cuadro 3. Continuación. D) Parcela 4

Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %
Sep-1	77	23
Sep-2	77	23
Oct-1	77	23
Oct-2	78	22
Nov-1	78	22
Nov-2	79	21
Dic-1	77	23
Dic-2	76	24
Ene-1	76	24
Ene-2	76	24
Feb-1	75	25
Feb-2	75	25

-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Cuadro 3. Continuación. E) Parcela 5

Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %
Sep-1	82	18
Sep-2	83	17
Oct-1	83	17
Oct-2	83	17
Nov-1	84	16
Nov-2	84	16
Dic-1	82	18
Dic-2	81	19
Ene-1	81	19
Ene-2	81	19
Feb-1	81	19
Feb-2	80	20

-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Cuadro 3. Continuación. F) Parcela 6

Muestreo	Superficie infectada %	Superficie no infectada %
Sep-1	81	19
Sep-2	81	19
Oct-1	80	20
Oct-2	80	20
Nov-1	80	20
Nov-2	80	20
Dic-1	80	20
Dic-2	79	21
Ene-1	79	21
Ene-2	79	22
Feb-1	78	22
Feb-2	78	22

-1) Primer muestreo, -2) Segundo muestreo. (A) parcela 1, (B) parcela 2, (C) Parcela 3, (D) parcela 4, (E) parcela 5 y (F) parcela 6.

Granados (2020) cita que el desarrollo de la enfermedad depende de la temperatura, humedad relativa y rocío; estudios en Costa Rica concluyen que la máxima infección se presenta entre setiembre y octubre, que son los meses de mayor precipitación, empieza a reducir en diciembre y los niveles más bajos se dan entre febrero y mayo, que es la época más seca del año.

Una de las bases de la agricultura de precisión es identificar las áreas que necesitan ser gestionadas. Para esto, es importante conocer el área infectada y el porcentaje que representan del total de la superficie (Ramírez y Porcayo, 2009). Del mismo modo es fundamental el monitoreo de las condiciones climáticas de importancia para la enfermedad y así tener una mejor predicción del aumento de la misma.

Ahorro económico y ambiental

La presencia de los agroquímicos contribuyó con la historia de la humanidad, permitiendo la producción de alimentos que satisface en gran parte la enorme demanda de una creciente población mundial. Actualmente el uso indiscriminado y el manejo inadecuado de estos productos están causando efectos irremediables al agro ecosistema, prácticas como el aumento en el número de aplicaciones, la elevación de las dosis y la preparación mezclando distintos tipos de plaguicidas, no hace sino agravar más los problemas, creando la resistencia de los insectos, hongos y malezas, muerte a los insectos y microorganismos benéficos, propiciando el surgimiento de nuevas plagas o el resurgimiento de las ya establecidas, además, de originar una espiral creciente de contaminación (Quispe, 2017).

La producción cafetalera ha atravesado por diferentes periodos de precios bajos, provocados por las oscilaciones de los precios internacionales que son a su vez los que imponen la pauta en los mercados internacionales (Ortega y Ramírez, 2013). Actualmente, los agricultores siguen prácticas normales de aplicación, los agroquímicos que utilizan en las plantas de café son los fungicidas sistémicos y de contacto ciproconazol con actividad preventiva, curativa, erradicadora e inhibitoria, los agroquímicos que utilizan pueden proteger mejor contra la invasión de *Mycena citricolor*, se aplican una vez en la estación seca y aumentan de tres a cuatro veces en la estación lluviosa. En el Cuadro 4 se observan las cifras obtenidas del ahorro en pesos y en fungicidas para cada una de las parcelas, la parcela numero 2 fue la que obtuvo mayor ahorro (950\$) en peso como en fungicida (0.39L).

Cuadro 4. Tablas de ahorro económico para cada una de las parcelas muestreadas en el municipio de Sultepec. Parcela 1

Mes	Costo en agricultura pesos/ha		Ahorro Pesos/ha	Fungicida aplicado (l/ha)		Ahorro fungicida kg/ha
	Convencional	precisión		Convencional	Precisión	
Sep.	1250	987.5	262.5	0.5	0.4	0.1
Oct.	1250	987.5	262.5	0.5	0.4	0.1
Nov.	1250	987.5	262.5	0.5	0.4	0.1
Total	3750	2962.5	787.5	1.5	1.12	0.3

Cuadro 4. Continuación. Parcela 2

Mes	Costo en agricultura pesos/ha		Ahorro Pesos/ha	Fungicida aplicado (l/ha)		Ahorro fungicida kg/ha
	Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
Sep.	1250	925	325	0.5	0.37	0.13
Oct.	1250	937.50	312.5	0.5	0.37	0.13
Nov.	1250	937.5	312.5	0.5	0.37	0.13
Total	3750	2800	950	1.5	1.11	0.39

Cuadro 4. Continuación. Parcela 3

Mes	Costo en agricultura pesos/ha		Ahorro Pesos/ha	Fungicida aplicado (l/ha)		Ahorro fungicida kg/ha
	Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
Sep.	1250	1062.5	187.5	0.5	0.4	0.1
Oct.	1250	1062.5	187.5	0.5	0.4	0.1
Nov.	1250	1062.5	187.5	0.5	0.4	0.1
Total	3750	3187.5	562.5	1.5	1.12	0.3

Cuadro 4. Continuación. Parcela 4

Mes	Costo en agricultura pesos/ha		Ahorro Pesos/ha	Fungicida aplicado (l/ha)		Ahorro fungicida kg/ha
	Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
Sep.	1250	962.5	987.5	0.5	0.38	0.12
Oct.	1250	962.5	987.5	0.5	0.38	0.12
Nov.	1250	962.5	287.5	0.5	0.38	0.12
Total	3750	2887.5	862.5	1.5	1.14	0.36

Cuadro 4. Continuación. Parcela 5

Mes	Costo en agricultura pesos/ha		Ahorro Pesos/ha	Fungicida aplicado (l/ha)		Ahorro fungicida kg/ha
	Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
Sep.	1250	1025	225	0.5	0.4	0.1
Oct.	1250	1037.5	212.5	0.5	0.4	0.1
Nov.	1250	1037.5	212.5	0.5	0.4	0.1
Total	3750	3100	650	1.5	1.2	0.3

Cuadro 4. Continuación. Parcela 6

Mes	Costo en agricultura pesos/ha		Ahorro Pesos/ha	Fungicida aplicado (l/ha)		Ahorro fungicida kg/ha
	Convencional	Precisión		Convencional	Precisión	
Sep.	1250	1012.5	237.5	0.5	0.4	0.1
Oct.	1250	1012.5	237.5	0.5	0.4	0.1
Nov.	1250	1000	250	0.5	0.4	0.1
Total	3750	3025	725	1.5	1.2	0.3

Esto se debió a que fue una de las parcelas con menor presencia de ojo de gallo; la parcela 5 tiene menor ahorro económico y gasto en agroquímico, sin embargo, es importante destacar que estos cálculos se realizaron en parcelas de 5,000 m², sin embargo existen productores que suelen tener parcelas mucho más grandes o más de una parcela, provocando un ahorro mayor al mencionado en las tablas. Estudios en Estados Unidos, Stafford y Miller (2003), han evaluado ahorros de productos que varían entre 7 y 69%, con la aplicación variable de herbicidas, dependiendo de la distribución de las malezas dentro del campo de cultivo de cereales (Ramírez y Porcayo, 2009). Chaves y Araya (2014) en su trabajo “Distribución espacial del amachamiento del frijol (*aphelenchoides besseyi christie*) en campo”, mencionan que al conocer que la enfermedad se presenta en forma agregada, su combate químico se puede llevar a cabo en forma dirigida y en etapas tempranas del cultivo; implicando menor cantidad de producto al aplicar y menor costo económico.

Desde el punto de vista fitosanitario es importante conocer con exactitud las áreas reales infectadas por *Mycena citricolor* dentro de las parcelas para poder realizar aplicaciones dirigidas de forma precisa las diferentes medidas de control generando beneficios económicos al realizar las aplicaciones de fungicidas en puntos muy concretos de los cultivos.

En la actualidad la importancia de realizar buenas prácticas agrícolas, tiene como objetivo ofrecer al mercado productos de calidad e inocuos, elaborados con un mínimo de impacto ambiental y en condiciones justas para los trabajadores. De acuerdo con las normas internacionales, las buenas prácticas agrícolas se orientan, sobre todo, al control de los peligros microbianos, químicos y físicos que podrían surgir en cualquier etapa de la producción primaria (Moran, 2020). La aplicación de las Geotecnologías en estudios de comportamiento de plagas y enfermedades nos ayuda a conocer alteraciones ocasionadas por los diversos problemas y su posición espacial dentro de las parcelas, este tipo de estudios contribuyen a realizar métodos de control dirigidos, dando como consecuencia ahorros en agroquímicos, económicos y ambientales.

Por lo anterior, en el caso de los cafetales es importante la aplicación de estas tecnologías que impulsen una transformación hacia el camino de una producción sustentable, amigable con el ambiente y económicamente rentable para los productores.

Conclusiones

Los métodos estadísticos clásicos (distribución estadística, índice de dispersión, Índice de Green, Binomial Negativa y Poisson) no son una buena opción para determinar el tipo de distribución, debido a que se obtuvieron algunos resultados con inconsistencias. Por otro lado, la Geoestadística permitió modelizar la estructura espacial de *M. citricolor*, con los modelos esférico y gaussiano; indicando una distribución de la enfermedad en agregados. Se utilizó el Krigeado ordinario para reallizar los mapas de densidad, encontrando algunos puntos de intensificación específicos en las parcelas. Todo lo anterior con el fin de conocer con exactitud el área de la superficie infectada debido a su importancia para realizar un control dirigido a los cultivos y así poder reducir gastos económicos y ambientales.

Fuentes consultadas

- Anacafé. (2017). Asociación Nacional del Café. <https://www.anacafe.org/>
- Avelino, J; Muller, R; Eskes, A; Santacreo, R; Holguín, F. (1999). La roya anaranjada del cafeto: mito y realidad. In Bertrand, B; Rapidel, B. eds. Desafíos de la caficultura en Centroamérica. IICA, San José, Costa Rica. p. 193-242.
- Carvajal F. (1939). Ojo de gallo (*Omphalia flavida*). Revista del Instituto de Defensa del Café de Costa Rica. Tomo 7. No.52. p. 535-549.
- Chaves Barrantes, N. F., y Araya Fernández, C. M. (2014). Distribución espacial del amachamiento del frijol (*Aphelenchoides besseyi* Christie) en campo. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 13-21.
- Ejecutivo, R. (2015). *Estudio de necesidades de innovación productiva para los cafeticultores del estado de Tabasco*.
- Espinoza Zúñiga, P., Ramírez Dávila, J. F., Cibrián Tovar, D., Villanueva Morales, A., Cibrián Llanderal, V. D., Figueroa Figueroa, D. K., y Rivera Martínez, R. (2019). Modelación de la distribución espacial del muérdago (*Santalales: Loranthaceae*) en las áreas verdes de la delegación Tlalpan, México. *Bosque (Valdivia)*, 40(1), 17-28. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002019000100017>
- Esquivel, V., y Jasso, Y. (2014). Distribución espacial y mapeo de gusano soldado en seis localidades del Estado de México, en el año 2011* Spatial distribution and mapping of armyworm in six localities in the State of Mexico, in 2011. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 923-935

- González, J., Guerra, F., Gómez, H. (2007). Geoenseñanza. *Geoenseñanza*, 12(1), 81–90.
- Granados Montero, M. D. M., Avelino, J., Arauz Cavallini, F., Castro Tanzi, S., y Ureña, N. (2020). Hojarasca e inóculo de *Mycena citricolor* sobre la epidemia de ojo de gallo. *Agronomía Mesoamericana*, 77–94. <https://doi.org/10.15517/am.v31i1.36614>
- Hevesi, J. A.; Istok, J. D.; Flint, A. L. (1992). Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part. I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology* 31 (7): 661-676. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1992\)0312.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1992)0312.0.CO;2)
- Issaks, E. H.; Srivastava, R. M. (1988). Spatial continuity measures for probabilistic and deterministic geostatistics. *Mathematical Geology* 20 (4): 313-341. <https://doi.org/10.1007/BF00892982>
- Lara Vázquez, F., Ramírez-Dávila, J. F., Rubí-Arriaga, M., Morales Rosales, E. J., Figueroa Figueroa, D. K., Acosta Guadarrama, A. D., y Rivera Martínez, R. (2018). Distribución Espacial de Araña Roja *Oligonychus punicea* Hirst1 en el Cultivo del Aguacate, en dos Municipios del Estado de México. *Southwestern Entomologist*, 43(3), 743-759.
- Malhado CM, M Petre. (2004). Behaviour of dispersion indices in pattern detection of a population of angico, *Anadenanthera peregrina* (Leguminosae). *Brazilian Journal of Biology* 64(2): 243-249
- Moran, M. (2020). *Importancia de la Agricultura Limpia para la producción de alimentos inocuos.*
- Ortega Hernández, Alejandro, y Ramírez Valverde, Benito (2013). crisis de la cafeticultura y migración en el contexto de pobreza y marginación. el caso de los productores indígenas de huehuetla, Puebla. *Ra Ximhai*, 9 (1), 173-186. [fecha de Consulta 18 de Septiembre de 2022]. ISSN: 1665-0441. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46127074014>
- Ramírez JF, VM Solares, DK Figueroa, JR Sanchez. (2013). Comportamiento espacial de trips (Insecta: Thysanoptera), en Plantaciones comerciales de aguacate (*Persea Americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta Zoologica Mexicana* 29(3): 545-562.
- Ramírez JF, VM Solares, DK Figueroa, Sanchez JR. (2011). Estabilidad espacio teemporal de la distribución del carbón de la espiga del maíz (*Sporisorium reilianum*) en el estado de México, México. *Rev Mex Fito.* 2011;29:1-14

- Ramírez Dávila, J., y Porcayo Camargo, E. (2009). Comportamiento espacial de las larvas del mosquito verde *Jacobiasca lybica*, en un viñedo de secano en Andalucía, España. *CIENCIA Ergo-Sum*, 16(2), 164–170.
- Ramírez JF, Porcayo E. (2010). Estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium sp.*) en la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *Bosque* 31(1): 28-38. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002010000100004>
- Rivera Martínez, R., Acosta Guadarrama, A. D., Ramírez Dávila, J. F., Figueroa Figueroa, D. K., Maldonado Zamora, F. I., y Lara Díaz, A. V. (2017). Distribución Espacial de las Poblaciones de Adultos de *Bactericera cockerelli* Sulc. 1 en el Cultivo de Tomate de Cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Southwestern Entomologist*, 42(4), 1057-1068.
- Rivillas, C., y Castro, Á. (2011). Ojo de gallo o gotera del café. *Cenicafe*, 24. www.cenicafe.org/es/publications/bot037.pdf
- SAGARPA. (2014). Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. <http://www.agricultura.gob.mx/catalogos/sagarpa-2014> (consultado marzo 2022)
- SADER. (2015). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <http://www.agricultura.gob.mx/sader/datos-2015> (consultado marzo 2022)
- SENASICA. (2014). Ojo de gallo *Mycena citricolor* (Berkeley y Curtis). *Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria*, 49, 3–8. (consultado marzo 2022)
- SENASICA. (2017). *PT_VECC_EDO_MEX_2017_.pdf* (p. 7). (consultado marzo 2022)
- SIAP (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/fnd/articulos/mexico-y-elcafe-organico?idiom=es>. (consultado marzo 2021)
- SIAP (2021). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/667940/Escenario_cafe_ago21. (consultado marzo 2021)
- Sicajú López, R, J. y Campos Almengor, O, G; (2017). ANACAFE. Manejo Integrado del ojo de gallo *Mycena citricolor*. (no.) 1579. Guatemala. <https://www.anacafe.org/>
- Silva AS, TA Mota, NY Pineyro, MG Fernandes, FF Pereira. (2016). Distribución espacial de *Vatiga spp.* (Hemiptera: *Tingidae*) en el cultivo de yuca. *Acta Biológica Colombiana* 21(1):195-200. DOI: 10.15446/abc.v21n1.46762

- Stafford, J. y P. Miller (2003). "Spatially Selective Application of Herbicides to Cereal Crops", *Computers Electronics Agric.* 9.
- Quispe, R. (2017). Manejo de agroquímicos en cultivos de cacao, café y coca en el distrito de Sivia, 550 msnm. Huanta, Ayacucho. *Universidad Nacional de San Martín*, 1, 100. http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2418/TP_AGRO_00662_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tapia Rodríguez, A., Ramírez Dávila, J. F., Salgado Siclán, M. L., Castañeda Vildózola, Á., Maldonado Zamora, F. I., y Lara Díaz, A. V. (2020). Spatial distribution of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) in avocado in the State of Mexico, Mexico / Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(1), 72–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.07.004>
- Vanegas-Carrillo, R., Ramírez-Dávila, J. F., y Rivera-Martínez, R. (2021). Spatial distribution of the mexican fruit fly complex (*Anastrepha spp.*) (diptera: *Tephritidae*) in Michoacán, Mexico. *Revista Colombiana de Entomología*, 47(1). DOI: <https://doi.org/10.25100/socolen.v47i1.7715>.
- Wang, A., y Avelino, J. (1999). El ojo de gallo del cafeto (*Mycena citricolor*). *Desafíos de La Caficultura En Centroamerica*, 243–260.

Comportamiento de las poblaciones de roya del café (*Hemileia vastatrix* Berkeley y *Broome*) en parcelas de Amatepec, Estado de México

Aurelio Pérez Constantino¹
José Francisco Ramírez Dávila²
Delfina de Jesús Pérez López³
Dulce Karen Figueroa Figueroa⁴

Introducción

El Estado de México cuenta con aproximadamente 549.06 ha sembradas de café de las cuales se obtiene una producción de 622.29 toneladas, distribuidos en ocho municipios de la entidad, en donde está presente la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*), estos municipios son catalogados como “Zonas bajo control fitosanitario” por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SIAP, 2020).

Antecedentes

La roya del cafeto es uno de los problemas fitosanitarios más comunes en el cultivo del café (APS, 2011), es causada por el por el hongo *Hemileia vastatrix*, fue encontrada por primera vez en México en 1981 en la región cafetalera del municipio de Tapachula, Chiapas, en esta época no reporto daños considerables a la producción, el clima era más estable y

¹ Estudiante del Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; de la Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Centro Universitario el Cerrillo Piedras Blancas Km. 15 Carr. Toluca–Ixtlahuaca Entronque al Cerrillo. C.P. 50200 Toluca, Méx. Tel. (01 729) 296 55 31 Ext: 139 Ce: aperezc023@alumno.uaemex.mx.

² Profesor-Investigador responsable del laboratorio de Entomología de la Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Centro Universitario el Cerrillo Piedras Blancas Km. 15 Carr. Toluca–Ixtlahuaca Entronque al Cerrillo. C.P. 50200 Toluca, Méx. Tel. (01 729) 296 55 31 Ext: 139 Ce: jfrd@uaemex.mx.

³ Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEM. Centro Universitario el Cerrillo Piedras Blancas Km. 15 Carr. Toluca–Ixtlahuaca Entronque al Cerrillo. C.P. 50200 Toluca, Méx. Tel. (01 729) 296 55 31 Ext: 139.

⁴ Profesora de la Universidad Mexiquense del Bicentenario, UES Coatepec Harinas, Estado de México, dulce.figueroa@umb.mx

varios años atrás se hicieron campañas de prevención, se mantuvo en buen estado las plantaciones y el rendimiento y la Roya no tuvo los efectos negativos que se pronosticaban (Castillo, 2013). Pero para el periodo comprendido entre el año 2010-2012, se comenzaron a detectar y reportar brotes atípicos de *Hemileia vastatrix* en algunos países de Centroamérica, principalmente en Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Entre otros. Según Cristancho *et al.* (2012) los incrementos en la incidencia de la enfermedad ocasionaron pérdidas de hasta un 30% en el rendimiento.

Para el 2012 las condiciones de los cafetales en México eran diferentes y poco favorables en comparación con 1981, había un mal manejo de los cafetales y abandono total o parcial de las huertas todo como consecuencia del descenso en los precios causado por el exceso de oferta de café en el mercado mundial que, según Aguilar (2013) fue una caída permanente, con ligeras recuperaciones, desde abril de 1997 hasta el 2002. Lo anterior sumado al poco apoyo de los gobiernos causo del 2004 al 2016 provocó una disminución en superficie sembrada y producción de café (SIAP, 2020) evidenciando una notable desarticulación de todo el Sistema Productivo Café en México (Senasica, 2018). En este año hubo aumento en la incidencia de la roya, principalmente en la región del Soconusco y Chiapas como consecuencia del cambio climático causado por el fenómeno del niño, a la llegada de la enfermedad el hongo encontró huertas avejentadas, poco manejo agronómico y poca inversión gubernamental, lo anterior genero la necesidad de generar y desarrollar información en temas de producción y fitosanidad en el sector cafetalero.

En este mismo año el SENASICA, ANACAFE y diversos sectores de investigación, realizaron un diagnóstico para conocer de la condición regional epidémica de la roya en el estado de Chiapas, derivado de lo anterior se pudo concluir lo siguiente: a) La situación fitosanitaria del café es similar a la que ocurre en otros países de Centroamérica y Sudamérica, b) La condición atípica es debido a condiciones climáticas (incremento acumulado de precipitación en zonas entre los 800-1,000 msnm), c) Manejo agronómico no adecuado del cultivo por parte del sector productivo (variedades, regulación de sombra, manejo de tejido, edad de las plantaciones, fertilización, control de malezas), d) ausencia de sistemas de monitoreo de enfermedades y control preventivo y d) desconocimiento de la fenología del cultivo en los últimos años (SENASICA, 2018).

Como resultado de la detección de las necesidades del sector cafetalero, a partir del 2013 el SENASICA a través de la Dirección General de

Sanidad Vegetal (DGSV) diseñó y puso en marcha en Chiapas, Guerrero y Veracruz un programa de vigilancia epidemiológica como elemento para la toma de decisiones fitosanitarias basado en el seguimiento de la epidemiología de la roya a través del tiempo permitiendo delimitar focos regionales de infección y control de roya (SENASICA, 2018).

En el año 2014 se detectó presencia la roya del cafeto en el Estado de México, las condiciones de los cafetales eran igual o peor que el resto del país: huertas en su mayoría avejentadas o con poco manejo, además de productores con poco conocimiento del cultivo que en su mayoría solo acudían a la huerta en época de cosecha. En 2016 a través del Comité de Sanidad Vegetal se incorporó en las acciones de vigilancia y control de la roya del café. Resultado de este programa de vigilancia según la Plataforma Epidemiológica de la Roya del Cafeto del SENASICA en la entidad, *Hemileia vastatrix* ha sido cambiante con tendencia a la baja, del año 2016 año con mayor severidad al 2018, pero en 2019 a la fecha las condiciones han ido a la alta debido a un aumento en severidad de roya en hoja y planta, lo que representó mayor disponibilidad de inoculo para el ciclo 2021, lo que podría resultar en un aumento en severidad y surgimiento de nuevos focos de infestación si no se realizan las actividades de control y si las condiciones regionales de la roya del cafeto se mantienen. Estas condiciones son generalizadas a nivel estado y/o municipio. Esto implica que zonas a nivel predio y planta no son representadas o difieren de las condiciones expresadas de forma regional, y que tengan una distribución espacial, incidencia y densidad mayor o menor de la roya.

Con lo mencionado, es de gran relevancia conocer distribución espacial de *Hemileia vastatrix* con el objetivo de elaborar programas de manejo integrado pertinentes y ecológicos, por lo que el desarrollo exacto y eficiente de métodos de muestreo y de valoraciones de riesgo se vuelve indispensable (Acevedo *et al*, 2016), para contar con estudios de distribución espacial y densidad más específicos que permitan obtener información precisa que ayude a realizar acciones de control y manejo de la roya más localizados, de tal manera que se puedan dirigir no solo las acciones de control químico sino también, las acciones de manejo cultural y preventivo durante el tiempo y el espacio del cultivo. Los métodos de la estadística espacial son una opción para conocer y determinar las zonas con grados de infestación que requieran un control inmediato, ya que los estudios geoestadísticos tienen en cuenta la naturaleza bidimensional de la distribución de los organismos a través de su localización espacial (Ramírez y Porcayo 2010), así también de-

tectar posibles preferencias en su estructura de agregación y detectar zonas que no presenten infestación. Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue establecer el comportamiento espacial de las poblaciones de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) en un municipio productor de café en el Estado de México con la metodología de la Geoestadística, bajo la hipótesis de que las poblaciones de roya (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) presentan una distribución en agregados y se encuentran dispersas por toda el área de estudio.

Importancia de la roya del cafeto

Impacto económico de la plaga

El cultivo de café es de gran importancia como producto agrícola en el comercio internacional y nacional, en el caso específico del Estado de México es una fuente generadora de empleos en toda su cadena productiva, una disminución en el rendimiento o un encarecimiento en los costos de producción por la roya significa un gran impacto en la economía de los productores y comerciantes del aromático cuyas economías dependen directo o indirectamente del café (APS, 2011).

La roya del cafeto está ampliamente distribuida en la mayoría de los países con producción de café (EPPPO, 2014). Es la enfermedad de mayor importancia económica y la más destructiva del cultivo en el mundo ya que provoca la caída temprana del follaje afectando la fotosíntesis, debilita la planta y en condiciones de infección alta llega a causar la muerte de ramas e incluso de los árboles (APS, 2011). Las variaciones en las condiciones climáticas derivado del calentamiento global, y un manejo poco adecuado del cultivo como uso de variedades susceptibles, mala nutrición, ausencia de podas y el mal manejo fitosanitario han generado un comportamiento inusual de la enfermedad tanto en estado de México como en todas las regiones cafetaleras del mundo (Cristancho *et al.*, 2012). Este comportamiento atípico del hongo se traduce en una mayor incidencia y severidad de la enfermedad que ha afectado y continúa afectando en el Estado de México a 546.06 ha de café que para el ciclo con una producción de 622.29 ton con un valor de \$4, 826,680.20, una mínima reducción en estos valores representa un gran impacto para la economía local y regional (Tabla 1).

Tabla 1. Datos del cultivo de café cereza, cierre agrícola 2020

Municipio	Sup. Sembrada (ha)	Volumen de la producción (ton)	Valor de la producción (\$)	Destino de la producción
San Simón de Guerrero	19	14.03	\$109,306.50	
Temascaltepec	47.5	47.84	\$367,766.40	
Tejupilco	16.36	10.63	\$68,882.40	Europa (Lituania), Asia (Japón), Ciudad de México, Mercado local
Amatepec	338.2	393.18	\$3,597,597.00	
Tlatlaya	34	21.32	\$176,956.00	
Ocuilan	14	29.33	\$108,044.30	
Sultepec	60	72.6	\$274,428.00	
Malinalco	20	33.36	\$123,699.60	
Total	549.06	622.29	\$4,826,680.20	

Fuente: Elaboración propia con datos del SIAP.

Ciclo biológico

La infección de la roya comienza con la aparición de síntomas en el envés de la hoja, se empiezan a observar puntos cloróticos del grosor de un alfiler estas se convierten en manchas pálidas que van aumentando en tamaño conforme avanza el tiempo hasta llegar a unirse hasta formar las manchas amarillas o naranjas con presencia de esporas en forma de polvo amarillo característico de la enfermedad (Rivillas *et al.*, 2011).

Se requieren ciertas condiciones necesarias para que las esporas germinen, estas son: seis horas con presencia de agua libre en las hojas, la temperatura ambiental tiene que estar entre los 21-25 °C y sombra. Después que las esporas de *Hemileia vastatrix* germinan, el hongo entra en las hojas las hojas a través de las estomas de las hojas maduras. Después de esto el hongo genera haustorios, que son las estructuras que extraen nutrientes de las células de la planta, en promedio treinta días después de la colonización se empiezan a generar los soros o estructuras encargadas para producir nuevas urediniósporas para generar un nuevo ciclo (Rayner, 1961).

En Estado de México, según el SENASICA basado en muestreos realizados en el ciclo de cultivo 2017, las condiciones inductivas mencionadas se generan entre el mes de mayo y el mes de noviembre, durante este periodo se presentan varios ciclos de la enfermedad que generan inoculo que con ayuda de las condiciones climáticas como la lluvia son trasportados a otra planta u otra parcela formando focos de infección.

Metodología

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó durante el periodo comprendido entre marzo y agosto del año 2020 en el municipio de Amatepec (Localidad: Amatepec) del Estado de México, que tiene una altitud promedio de 1389 msnm, clima templado y una temperatura media de 23 °C (Cardoso, 1999).

El área de estudio fueron seis parcelas de 0.5 hectáreas, con un sistema de policultivo tradicional con una mezcla de variedades de café caturra y typica de manejo convencional, entre 40 y 60% de sombra compuesta de árboles de parota, fresnos, naranjas y limones y especie semi leñosas como la higuera, en su mayoría cafetos normales generalmente son cafetos jóvenes, menores a 15 años o bien rejuvenecidos, sin poda durante el periodo de evaluación, el tipo de suelo es clasificado como regosoles franco arenosos con 30 cm de profundidad.

Cada parcela se dividió en cuadrantes de 10mx10m para tener 50 cuadrantes, de cada uno se marcaron y georreferenciaron (DGPS) 4 árboles para un total de 200 árboles por parcela (Moral, 2004) y cada árbol se dividió en estrato bajo, medio y alto.

Se realizaron muestreos cada catorce días en 12 hojas por estrato registrado datos de incidencia de roya usando la escala de severidad e incidencia del SENASICA para detectar presencia o ausencia.

Factores climáticos

Se colocó un sensor climático dataloggers HOBO Pro V2 que registro datos de temperatura y humedad relativa en la parcela más central, con el objetivo de contribuir a explicar el comportamiento espacial del hongo *Hemileia vastatrix*, el sensor registró datos cada media hora, y se sacaron las medias, mínimas y las máximas de temperatura y humedad relativa.

Análisis de datos

Los datos de muestreo (georreferenciación y muestreo), fueron concentrados en bases de datos por fecha de muestreo para su análisis.

Estadística clásica

Con la finalidad de realizar una comparación de los resultados en el análisis de datos de muestreo de la estadística espacial con la estadística no espacial (clásica), se utilizaron los siguientes métodos generales de estadística clásica que sirven para establecer la distribución espacial de los organismos:

Las distribuciones estadísticas y los índices de dispersión. Los índices que se usaron son los Índices de Dispersión (índice de dispersión y el Índice de Green), así como las distribuciones estadísticas (Binomial Negativa y Poisson).

Análisis Geoestadístico

Análisis exploratorio de datos

Se realizó un análisis exploratorio de los datos para comprobar que cumplan con los requisitos o supuestos necesarios para utilizar la estadística espacial: Normalidad de los datos, heterogeneidad de la variable y más de 100 unidades muestréales.

La variable presento una base de heterogeneidad, se utilizaron 200 unidades muestréales por parcela y se corrobora la normalidad de los datos utilizando la prueba de Curtosis y el coeficiente de asimetría, cumpliendo así con las condiciones necesarias para trabajar con estadística espacial (Chilés y Delfiner, 1999. Fernández, 2003).

La auto correlación espacial se analizó mediante variogramas (semivariogramas). Partiendo de los datos de muestreo de roya (% de roya) más la ubicación precisa de la planta hospedera, se estimó de forma empírica el semivariograma subyacente y se calculó los parámetros del modelo del semivariograma (efecto pepita, meseta y rango) con el programa variowin, además se realizaron mapas de incidencia a partir de la técnica conocida como kriging con el programa surfer 16 (software para análisis de datos espaciales en 2D. Spring Verlag, Nueva York; USA.) y el WinGslib 2002 (Maldonado *et al.*, 2017).

Estimación del semivariograma experimental

Para cada fecha de muestreo se realizó un semivariograma experimental, se estimó sobre la base de los datos referidos a la incidencia de roya con el programan variowin 2.2.

El semivariograma experimental correspondiente a cada muestreo se realizó empleando el programa Variowin 2.2 (Software for Spatial Data Analysis in 2D. Spring Verlag, New Cork, USA) y el WinGslib 2002.

Estimación de los parámetros del modelo de Semivariograma

Una vez estimado el correspondiente semivariograma experimental se ajustaron a semivariogramas usando el software Variowin 2.0, entendiéndose como semivariogramas teóricos una expresión analítica sencilla que se emplean para representar semivariogramas reales (Gallardo A., 2006). Los modelos teóricos a los que se buscó ajustar los semivariogramas experimentales fueron Modelo Esférico, Modelo Exponencial, Modelo Gaussiano, Modelo Logarítmico, Modelo Efecto Pepita Puro, Modelo Efecto Agujero, Modelo Monómico que son los más comunes según (Gallardo A., 2006 y Trematerra y Sciarretta, 2002).

Modelo Esférico: Es indicativo para fenómenos para fenómenos continuos, pero no derivables, alcanza la meseta a una distancia finita. Modelo Exponencial: es representativos de fenómenos continuos, alcanza su meseta de forma asintótica. Modelo Gaussiano: alcanza su meseta asintóticamente. Se emplea para representar fenómenos continuos en todos sus puntos, pero derivables. Modelo Logarítmico: este variograma no está definido en el origen y no tiene meseta. Modelo Efecto Pepita Puro: es indicativo de un fenómeno sin ninguna autocorrelación espacial, o sea puramente aleatorio. Modelo Efecto Agujero: es utilizado para fenómenos con componentes periódicas. Modelo Monómico: estos variogramas no tienen meseta y tienden al infinito. Se utilizan para representar fenómenos no estacionarios (Gallardo A., 2006 y Trematerra y Sciarretta, 2002).

Validación

Los modelos se validaron ajustando a los semivariogramas experimentales con el procedimiento denominado validación cruzada (IICA, 2014; Gallardo A., 2006). Con este procedimiento no paramétrico, se eliminó un valor muestral y se empleó el método de interpolación geoestadís-

tico denominado krigeado, junto con el modelo de semivariograma a validar, para estimar el valor de la variable de interés en dicho punto muestral a partir de los restantes valores muestrales, este proceso se efectuó sucesivamente en todos los puntos muestrales y las diferencias entre los valores experimentales y los estimados se resumieron mediante los denominados estadísticos de validación cruzada (Media de los errores de estimación (MEE), Error cuadrático medio (ECM), Error cuadrático medio adimensional (ECMA) (Gallardo A., 2006; Isaaks y Srivastava, 1989 y Hevesi *et al.*, 1992).

Nivel de dependencia espacial

Se calculó el nivel de dependencia espacial dividiendo el efecto pepita entre la meseta (valor en el cual el modelo alcanza el rango) con el fin de conocer el grado de relación entre los datos, el resultado según la fórmula se expresa en porcentaje y compara con el siguiente criterio: menor de 25% el nivel de dependencia espacial es alta, entre 26 y 75% el nivel de dependencia espacial es moderado y mayor del 76 % el nivel de dependencia es bajo (IICA, 2014; López-Granados *et al.*, 2002), es decir entre más grande sea el valor del resultado el nivel de incidencia de roya de una planta dependerá más del nivel de incidencia que conformen un foco de infección.

Elaboración de mapas

Una vez que los modelos de los semivariogramas correspondientes se validaron, con el método geoestadístico denominado Krigeado Ordinario se elaboraron los mapas de densidad de las poblaciones de la roya utilizando el programa Surfer 16 y se calculó la superficie infectada.

Ahorro económico y ambiental

Una de las metas de la agricultura de precisión es dirigir las medidas de control sobre las zonas específicas de infección de enfermedades e insectos plaga, lo cual determinaría un posible ahorro económico y una reducción de la cantidad del volumen de plaguicidas aplicados para su control. Obteniendo el porcentaje de superficie infectada de los mapas elaborados se calculó el gasto y ahorro económico y ambiental con agricultura de precisión contra agricultura convencional. El cálculo se realizó tomando en cuenta cuatro aplicaciones de cyproconazol para

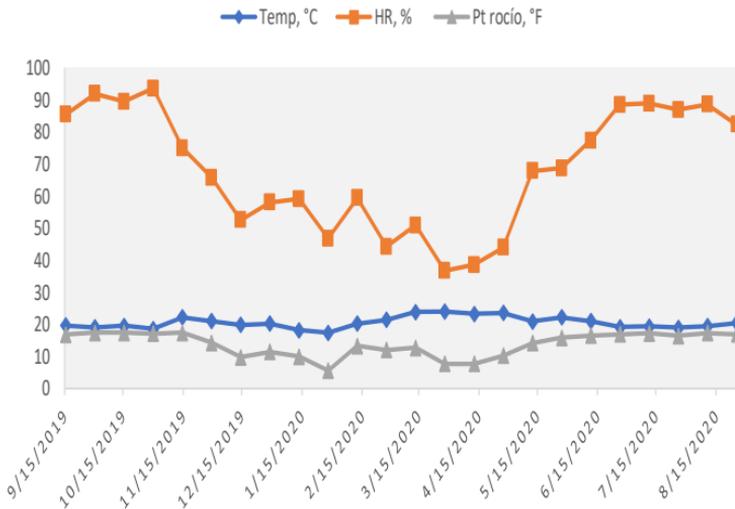
control de roya a un intervalo de 30 días en las fechas que regularmente se aplica en la región.

Resultados y discusión

Factores climáticos

De acuerdo a los datos registrados en los sensores climáticos se puede decir que los meses con mayor humedad relativa del periodo de evaluación fue de mayo a agosto, que corresponden a la temporada de lluvia, por su lado, la temperatura presentó una alza en los meses correspondientes al periodo de secas (Figura 1). Esto concuerda con la Figura 2, ya que las horas favorables probablemente se presentaron en los meses de mayor humedad de junio a agosto y según la misma figura son los meses en los que no se detectó roya o esporas sobre las hojas de café debido al arrastre de estas a otras plantas para empezar un nuevo ciclo en cuanto las condiciones óptimas se presenten (Coria-Contreras *et al.*, 2014).

Figura 1. Datos climáticos de Amatepec, elaboración propia con datos recolectados con el sensor climático dataloggers HOBO Pro V2. en el periodo comprendido de marzo a agosto del 2021



Estadística clásica

Basado en las siguientes premisas: a) índice de dispersión con un valor mayor a uno es un comportamiento en agregados y con valores menores es aleatorio y, b) Índice de Green con un valor mayor a cero es una distribución agregada y los iguales a cero son aleatorios, el comportamiento de los datos con el análisis en las pruebas de estadística clásica mostró que la mayoría de los comportamientos de los índices fueron agregados en ambas pruebas (Tabla 2).

En la comparación de resultados de las diferentes pruebas de estadística clásica es notable una limitante en éstos métodos en cuanto a la precisión para detectar comportamientos de distribución espacial de roya en el cultivo del café, como sucede el caso de los resultados poisson y binomial negativa en los muestreos correspondientes a junio 2 de la parcela uno; marzo 1, agosto 1 y agosto 2 de la parcela dos; y mayo 2 y junio 1 de la parcela cuatro que se ajustaron tanto a una distribución Binomial Negativa (agregación) como a una distribución de Poisson (aleatoriedad) (Tabla 2).

De igual manera en los índices de Dispersión y Green, en marzo 2, abril 1, junio 1, julio 1, julio2 de la parcela 1; marzo 1, abril 1, junio 1, junio 2 de la parcela 2; abril 2, mayo 1, julio 1, julio2, agosto 1 de la parcela 3; abril 1, mayo 1, junio 1, junio 2, agosto 2 de la parcela 4; abril 1, abril 2, junio 1, agosto 1, de la parcela 5 y abril 2, mayo 1, julio2, agosto 1 de la parcela 6 se ajustan a una distribución agregada en una y aleatoria en la otra (Tabla 2).

El valor de k causa que los comportamientos de los datos sean aleatorios y agregados en las pruebas de binomial negativa y poisson para la misma fecha de muestreo, aunque binomial negativa lo detecta como agregado, la agregación es muy débil por lo que poisson lo detecta como aleatorio, por lo que, al realizar el ajuste estadístico por máxima verosimilitud, ambos modelos se ajusten a los datos indistintamente (Cole, 1946; Morris, 1954; Southwood, 1978 y Taylor, 1984).

Las pruebas de Green y dispersión detectaron los dos tipos de comportamiento aleatoriedad y agregación para la misma fecha muestreo como por ejemplo en marzo 2 para la parcela 1 índice de dispersión mostro agregación y green aleatoreidad.

Tabla 2. Índices de dispersión y distribuciones estadísticas de la roya del café, elaboración propia con datos de los muestreos en parcelas de Amatepec en el periodo comprendido de marzo a agosto del 2021. Parcela 1

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	k
Marzo 1	2.11s	0.58	NS	S	2.14
Marzo 2	1.65s	0	NA	NA	-
Abril 1	0.65ns	0.31	NS	S	0.96
Abril 2	1.97s	0.96	NS	S	4.19
Mayo 1	2.08s	0.74	NA	NA	-
Mayo 2	1.27s	0.69	NS	S	3.71
Junio 1	1.74s	0	NS	S	2.64
Junio 2	1.82s	0.92	S	S	33.81
Julio 1	0.33ns	0.28	NS	S	4.73
Julio2	0.72ns	0.17	NS	S	0.85
Agosto 1	1.35s	0.70	NS	S	1.26
Agosto 2	1.49s	0.49	NS	S	4.28

Nota: S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= NoAjustada.

Tabla 2. Continuación. Parcela 2

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	k
Marzo 1	1.63s	0	S	S	42.13
Marzo 2	1.34s	0.62	NS	S	2.74
Abril 1	1.88s	0	NS	S	1.09
Abril 2	1.57s	0.37	NS	S	3.43
Mayo 1	2.17s	0.41	NS	S	2.59
Mayo 2	1.96s	0.86	NS	S	1.92
Junio 1	1.48s	0	NS	S	0.68
Junio 2	0.29ns	0.59	NS	S	4.16
Julio 1	2.05s	0.34	NS	S	3.49
Julio 2	0.52ns	0.17	NS	S	2.61
Agosto 1	2.35s	0.59	S	S	39.73
Agosto 2	1.25s	0.18	S	S	35.14

Nota: S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.

Tabla 2. Continuación. Parcela 3

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	k
Marzo 1	2.83s	0.94	NS	S	3.65
Marzo 2	2.72s	0.38	NS	S	2.18
Abril 1	2.09s	0.29	NS	S	0.57
Abril 2	1.66s	0	NS	S	1.19
Mayo 1	2.13s	0	NS	S	2.74
Mayo 2	1.90s	0.31	NA	NA	-
Junio 1	2.61s	0.82	NS	S	4.52
Junio 2	2.87s	0.77	NS	S	3.11
Julio 1	0.79ns	0.52	NA	NA	-
Julio 2	1.35s	0	NS	S	2.84
Agosto 1	0.44ns	0.34	NS	S	3.68
Agosto 2	1.24s	0.15	NS	S	2.13

Nota: S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.

Tabla 2. Continuación. Parcela 4

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	k
Marzo 1	1.17	0.21	NS	S	0.13
Marzo 2	2.58	0.96	NA	NA	-
Abril 1	1.29	0	NS	S	3.29
Abril 2	1.60	0.54	NS	S	2.06
Mayo 1	0.57ns	0.79	NS	S	4.28
Mayo 2	1.46	0.63	S	S	32.10
Junio 1	0.44ns	0.51	S	S	38.14
Junio 2	0.31ns	0.28	NS	S	5.05
Julio 1	2.75	0.14	NS	S	3.14
Julio 2	2.31	0.29	NS	S	2.37
Agosto 1	1.92	0.46	NS	S	0.59
Agosto 2	2.48	0	NS	S	1.72

Nota: S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.

Tabla 2. Continuación. Parcela 5

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
Marzo 1	1.19	0.53	NS	S	1.84
Marzo 2	2.06	0.40	NA	NA	-
Abril 1	0.34ns	0.18	NS	S	3.67
Abril 2	2.84	0	NS	S	1.32
Mayo 1	1.29	0.79	NS	S	2.66
Mayo 2	2.33	0.35	NS	S	3.75
Junio 1	1.75	0	NS	S	3.07
Junio 2	2.92	0.59	NA	NA	2.45
Julio 1	2.56	0.40	NS	S	1.97
Julio 2	1.38	0.25	NS	S	0.53
Agosto 1	0.85ns	0.79	NS	S	2.85
Agosto 2	1.64	0.25	NS	S	3.77

Nota: S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.

Tabla 2. Continuación. Parcela 6

Fecha	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
Marzo 1	1.39	0.25	NS	S	2.77
Marzo 2	1.55	0.60	NA	NA	-
Abril 1	1.28	0.39	NS	S	1.94
Abril 2	0.62ns	0.86	NS	S	0.36
Mayo 1	2.09	0	NS	S	3.89
Mayo 2	2.48	0.46	NS	S	2.45
Junio 1	1.74	0.25	NS	S	5.13
Junio 2	1.44	0.17	NS	S	2.19
Julio 1	2.39	0.92	NS	S	1.65
Julio 2	0.48	0.45	NA	NA	-
Agosto 1	1.57	0	NA	NA	-
Agosto 2	2.88	0.31	NS	S	1.36

Nota: S=Significativa; NS= No Significativa; nivel de significación al 5%; NA= No Ajustada.

Demostrando que hay limitantes para evaluar distribuciones en el comportamiento de plagas con estadística clásica, autores como como Ramírez (2009), también encontraron limitaciones en sus estudios de comportamiento espacial, esto podría deberse a que estas pruebas no toman en cuenta la naturaleza bidimensional de las poblaciones (espacio-tiempo), por lo que la información que se obtiene tiene un límite en el análisis de la variable, así como su aplicación.

Análisis geoestadístico

Con los datos obtenidos de los muestreos se generó la modelización espacial y derivado de los 12 muestreos por cada una de las 6 parcelas se obtuvieron 72 semivariogramas, los cuales fueron ajustados. Para todas las parcelas en las diferentes fechas de muestreo presento una pepita ligeramente por arriba de cero, rangos entre los 2.6 y 20.4, dependencia espacial alta, se ajustaron a un modelo esférico, exponencial y gaussiano (Tabla 3).

En el valor de la pepita entre el valor de la meseta revelo una alta dependencia espacial en todas las fechas de muestreo, lo cual indica alta dependencia entre las poblaciones de roya (Cárdenas, 2017; Rossi *et al.* 1992). El efecto pepita, además, dice que no se encontró errores de muestreo y que la escala utilizada fue la correcta para el levantamiento de datos de la roya del café y que los modelos ajustados tienen un 98 % de certeza (Oliver y Webster, 1998).

Los centros de agregación vistos en los mapas y los modelos muestran aleatoriedad esto como resultado de la diseminación o transporte de esporas del hongo por factores ambientales como el viento, la lluvia y el productor de una parcela a otra (Mora, 2015), con esto se podría conjeturar que los comportamientos esférico, gaussiano y exponencial son comunes para este periodo de evaluación de la enfermedad, estos tres modelos, indican que las agregaciones de la enfermedad se presentan en mayor cantidad en ciertas zonas de la parcela respecto al resto de puntos considerados en el muestreo. El ajuste al modelo esférico evidencia que en el área de muestreo hay zonas en las que se presenta más la enfermedad respecto al resto de puntos muestreados, por lo tanto, se presentan focos de infestación de la plaga que crecen o se dispersan desde una fuente puntual u origen. El modelo gaussiano muestra que los centros de agregación crecen de forma continua dentro del área de muestreo con lo que se puede suponer que diversos factores promueven una diseminación más rápida de *Hemilea vastatrix*. El modelo exponencial denota un crecimiento de la enfermedad de forma constante en la parcela (Acosta, *et al.*, 2017).

Tabla 3. Parámetros (efecto pepita, meseta y rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de incidencia de roya del café en la parcela 1, elaboración propia con datos de los muestreos en parcelas de Amatepec en el periodo comprendido de marzo a agosto del 2021. Parcela 1

Fecha	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pep/mes	Dep. Esp.
Marzo 1	3.935	32.37263819	Exponencial	0.29	39.48	16.8	0.007345491	Alta
Marzo 2	3.938	32.37263819	Exponencial	0.29	44.18	19.8	0.006564056	Alta
Abril 1	4.885	55.8610804	Gaussianno	0.01	54.32	4.75	0.000184094	Alta
Abril 2	4.888	55.8610804	Gaussianno	0.01	54.32	4.75	0.000184094	Alta
Mayo 1	4.43	30.69859296	Gaussianno	1	29.76	2.56	0.033602151	Alta
Mayo 2	4.43	30.69859296	Gaussianno	1	29.76	2.56	0.033602151	Alta
Junio 1	0.43	4.728743719	-	-	-	-	-	-
Junio 2	0.42	4.728743719	-	-	-	-	-	-
Julio 1	0.4	4.728743719	-	-	-	-	-	-
Julio 2	0.41	4.728743719	-	-	-	-	-	-
Agosto 1	2.46	10.84261307	Esférico	1	10.45	3.48	0.09569378	Alta
Agosto 2	2.46	10.84261307	Esférico	1	10.45	3.48	0.09569378	Alta

Tabla 3. Continuación. Parcela 2

Fecha	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pep/mes	Dep. Esp.
Marzo 1	8.84	45.5119598	Exponencial	0.01	44.16	16.8	0.000226449	Alta
Marzo 2	8.84	45.5119598	Exponencial	0.01	44.16	16.8	0.000226449	Alta
Abril 1	9.715	50.6168593	Esférico	0.99	48.45	18	0.020433437	Alta
Abril 2	9.72	50.6168593	Esférico	0.99	48.45	18	0.020433437	Alta
Mayo 1	8.885	51.91133166	Esférico	1	46.8	20.4	0.021367521	Alta
Mayo 2	8.888	51.91133166	Esférico	1	46.8	20.4	0.021367521	Alta
Junio 1	0.46	4.330050251	-	-	-	-	-	-
Junio 2	0.48	4.330050251	-	-	-	-	-	-
Julio 1	0.47	4.330050251	-	-	-	-	-	-
Julio 2	0.44	4.330050251	-	-	-	-	-	-
Agosto 1	3.04	13.5561809	Exponencial	1	13.02	15.39	0.076804916	Alta
Agosto 2	3.041	13.5561809	Exponencial	1	13.02	15.39	0.076804916	Alta

Tabla 3. Continuación. Parcela 3

Fecha	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pep/mes	Dep. Esp.
Marzo 1	7.34	61.06974874	Exponencial	1	59.78	7.84	0.016728003	Alta
Marzo 2	7.38	61.06974874	Exponencial	1	59.78	7.84	0.016728003	Alta
Abril 1	5.375	43.35113065	Esférico	1	40.48	4.76	0.024703557	Alta
Abril 2	5.378	43.35113065	Esférico	1	40.48	4.76	0.024703557	Alta
Mayo 1	6.385	52.12741206	Exponencial	1	49.92	6.79	0.020032051	Alta
Mayo 2	6.38	52.12741206	Exponencial	1	49.92	6.79	0.020032051	Alta
Junio 1	1.05	6.510050251	-	-	-	-	-	-
Junio 2	1.04	6.510050251	-	-	-	-	-	-
Julio 1	1.001	6.510050251	-	-	-	-	-	-
Julio 2	1.01	6.510050251	-	-	-	-	-	-
Agosto 1	2.125	11.71796482	Esférico	1	11.16	5.04	0.089605735	Alta
Agosto 2	2.122	11.71796482	Esférico	1	11.16	5.04	0.089605735	Alta

Tabla 3. Continuación. Parcela 4

Fecha	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pep/mes	Dep. Esp.
Marzo 1	4.715	24.01384422	Gaussiano	1	23.52	7.98	0.042517007	Alta
Marzo 2	4.714	24.01384422	Gaussiano	1	23.52	7.98	0.042517007	Alta
Abril 1	4.155	22.73464824	Esférico	0.01	21.62	9.45	0.000462535	Alta
Abril 2	4.161	22.73464825	Esférico	0.01	21.62	9.45	0.000462535	Alta
Mayo 1	3.63	21.63125628	Esférico	1	20.68	10.08	0.048355899	Alta
Mayo 2	3.51	21.63125628	Esférico	1	20.68	10.08	0.048355899	Alta
Junio 1	0.46	2.621507538	-	-	-	-	-	-
Junio 2	0.44	2.621507538	-	-	-	-	-	-
Julio 1	0.41	2.621507538	-	-	-	-	-	-
Julio 2	0.39	2.621507538	-	-	-	-	-	-
Agosto 1	1.975	13.58228643	Esférico	1	12.46	8.82	0.080256822	Alta
Agosto 2	1.974	13.58228643	Esférico	1	12.46	8.82	0.080256822	Alta

Tabla 3. Continuación. Parcela 5

Fecha	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pep/mes	Dep. Esp.
Marzo 1	5.165	50.11836683	Gaussiano	1	43.5	4.2	0.022988506	Alta
Marzo 2	5.164	50.11836683	Gaussiano	1	43.5	4.2	0.022988506	Alta
Abril 1	4.77	46.31748744	esférico	1	42.3	4.2	0.023640662	Alta
Abril 2	4.77	46.31748744	esférico	1	42.3	4.2	0.023640662	Alta
Mayo 1	4.265	32.90932161	Gaussiano	1	30.69	3.92	0.032583904	Alta
Mayo 2	4.265	32.90932161	Gaussiano	1	30.69	3.92	0.032583904	Alta
Junio 1	0.181	2.339296482	-	-	-	-	-	-
Junio 2	0.18	2.339296482	-	-	-	-	-	-
Julio 1	0.17	2.339296482	-	-	-	-	-	-
Julio 2	0.18	2.339296482	-	-	-	-	-	-
Agosto 1	2.67	24.9759799	Gaussiano	1	24.3458	3.64	0.041074847	Alta
Agosto 2	2.68	24.9759799	Gaussiano	1	24.3458	3.64	0.041074847	Alta

Tabla 3. Continuación. Parcela 6

Fecha	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pep/mes	Dep. Esp.
Marzo 1	5.1	46.01005025	Gaussiano	1	43.7	4,32	0.022883295	Alta
Marzo 2	5.11	46.01005025	Gaussiano	1	43.7	4,32	0.022883295	Alta
Abril 1	4.59	39.73055276	Exponencial	1	39.1987	4,32	0.02551105	Alta
Abril 2	4.6	39.73055276	Exponencial	1	39.1987	4,32	0.02551105	Alta
Mayo 1	4.225	29.31092965	Gaussiano	1	27.3	5,04	0.036630037	Alta
Mayo 2	4.227	29.31092965	Gaussiano	1	27.3	5,04	0.036630037	Alta
Junio 1	3.76	23.56020101	Gaussiano	1	21.6	3,84	0.046296296	Alta
Junio 2	3.76	23.56020101	Gaussiano	1	21.6	3,84	0.046296296	Alta
Julio 1	0.63	4.917688442	-	-	-	-	-	-
Julio 2	0.54	4.917688442	-	-	-	-	-	-
Agosto 1	2.84	18.02452261	Gaussiano	1	17.46	4,8	0.057273769	Alta
Agosto 2	2.84	18.02452261	Gaussiano	1	17.46	4,8	0.057273769	Alta

Elaboración de mapas y superficie infestada

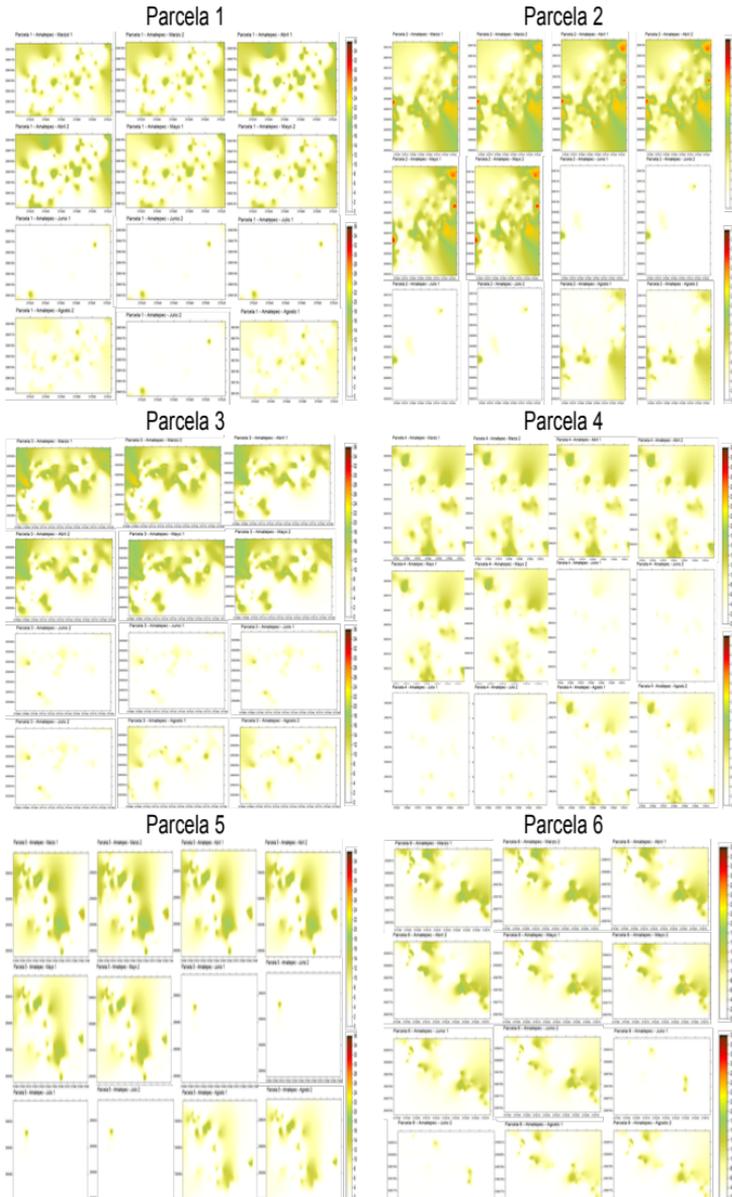
Derivado de los 12 muestreos por cada una de las 6 parcelas se obtuvieron 72 mapas de incidencia de la enfermedad y se calculó la superficie infectada, la escala de colores o varemos de los mapas representan las hojas muestreadas con incidencia de roya y va de 0 a 36 hojas. Estos mapas permitieron ver de forma más gráfica la presencia de la infección del hongo y confirmaron que las poblaciones de *Hemileia vastatrix* se encuentran en centros de agregación (Figura 2).

Estos patrones de agregación muestran la interacción entre los patógenos, o entre los patógenos y el medio, aunque suele existir muchas otras causas probables para la formación de centros de agregación, como el ciclo de vida del patógeno, las características fisiográficas del medio, la naturaleza del hospedero, entre otras (Jiménez *et al.*, 2014; Tannure *et al.*, 2013).

La agregación de *Hemileia vastatrix* mostrada en los mapas coincide por lo descrito por Mora (2015) y Jiménez *et al.* (2013) que describieron el crecimiento de la roya en focos de infección. Estos focos o centros de agregación sirvieron como fuentes y reservorios de inóculo, y tuvieron un crecimiento ascendente en los seis meses de muestreo lo cual coincide con lo reportado por SENASICA en ciclos anteriores. Cabe señalar que en la época de lluvia (septiembre y agosto) hubo poca presencia de roya, lo que podría deberse a que la precipitación lava las esporas visibles de la roya, pero también transporta el inóculo a las hojas y plantas aledañas, y con la salida de la lluvia, la humedad residual el aumento de temperatura (horas favorables) y el crecimiento de tejido de nuevo en la planta de los meses siguientes crean las condiciones óptimas para el surgimiento de focos nuevos y el crecimiento o fortalecimiento de los ya existentes como lo muestra la escala de colores en los mapas, esto concuerda con lo encontrado por Jiménez (2014) y Mendoza (2015) quienes estudiaron la producción de inóculo de la roya del café y los factores asociados a su distribución y patogénesis.

El estudio espacial permitió determinar localizaciones en el espacio geográfico de las parcelas midiendo fielmente los fenómenos fitosanitarios, el nivel de dependencia y su estabilidad, lo que permite inferir una mayor efectividad en comparación con la estadística clásica que presentó contradicciones, esto coincide con los estudios realizados por Ramírez y Porcayo (2010) de distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium sp.*).

Figura 2. Mapas de incidencias de la roya del café en el municipio de Amatepec, periodo marzo-agosto de 2022



De acuerdo con Acevedo y Jiménez *et al.* (2014) las sumas de las condiciones inductivas necesarias para la germinación del hongo causante de la roya son conocidas como horas favorables y son temperaturas entre los 20 y 22 °C y humedades relativas por arriba del 90%, y, según los datos registrados por los *dattalogers*, los meses que reunieron estas condiciones son: septiembre, octubre y noviembre, periodo donde se iniciaron ciclos de infección y reinfección, y según el manual operativo del programa de vigilancia en café 2018 del SENASICA, el periodo de germinación y/o generación de esporas va desde los 26 a los 60 días una vez iniciado el ciclo, esto concuerda con los datos encontrados en campo, en donde el mes uno de muestreo fue el de menor presencia de la roya donde probablemente se iniciaron uno o varios ciclos, y en los siguientes meses la presencia del hongo fue progresiva, siendo los últimos los de mayor presencia, ya que mayor generación de esporas y reinfección a otras hojas o plantas fue aumentando.

En lo que respecta a las superficies infectadas, todas las parcelas muestreadas mostraron un intervalo que va del 4% al 74% en las fechas de muestreo entre marzo y agosto, con un crecimiento de la infección ascendente, y luego un descenso drástico en los meses de lluvia para posteriormente empezar a ascender (Tabla 4).

Fue evidente el progreso de la incidencia de *Hemileia vastatrix* en el tiempo con la aparición de nuevos focos en los mapas elaborados a través de las fechas de muestreo, estos mapas de interpolación por Krigin, además permitieron ver los intensidad de la roya en algunas áreas de la parcela, por lo que de manera práctica y tomando en cuenta también el porcentaje de infestación se puede dirigir las estrategias de control de la roya de forma más precisa a las áreas con altos niveles de incidencia reduciendo así los reservorios de inóculo que inician la propagación con el inicio de las lluvias o la cosecha del café, esto resultaría en ahorros económicos al reducir gastos de compra de insumos y mano de obra para la aplicación, así también se disminuirá el impacto ambiental debido a que el químico que se aplique será menor. Incorporando la agricultura de precisión en el manejo integrado de la enfermedad, también es útil para identificar zonas en donde es necesario realizar labores culturales como podas de café, podas de sombra, deshierbe, abonado con la finalidad reducir los microclimas que promueven las horas favorables para el crecimiento del hongo de la roya (Coria, 2015), justificando así el uso de las técnicas de la agricultura de precisión como una herramienta que permite mantener o reducir los daños causados por la enfermedad en los cafetales del Estado de México (Néstor *et al.*, 2017).

Tabla 4. Porcentaje de superficie infestada por parcela durante el periodo de evaluación

Parcela	Muestreo	Superficie infestada %	Parcela	Muestreo	Superficie infestada %
Parcela 1	marzo 1	54	Parcela 2	marzo 1	73
	marzo 2	55		marzo 2	74
	abril 1	57		abril 1	74
	abril 2	58		abril 2	75
	mayo 1	61		mayo 1	73
	mayo 2	62		mayo 2	73
	junio 1	7		junio 1	7
	junio 2	8		junio 2	6
	julio 1	8		julio 1	5
	julio2	9		julio2	5
agosto 1	62	agosto 1	55		
agosto 2	60	agosto 2	53		
Parcela 3	marzo 1	52	Parcela 4	marzo 1	49
	marzo 2	53		marzo 2	50
	abril 1	55		abril 1	52
	abril 2	55		abril 2	53
	mayo 1	56		mayo 1	53
	mayo 2	56		mayo 2	54
	junio 1	11		junio 1	10
	junio 2	10		junio 2	10
	julio 1	10		julio 1	9
	julio2	12		julio2	8
agosto 1	29	agosto 1	20		
agosto 2	28	agosto 2	22		
Parcela 5	marzo 1	55	Parcela 6	marzo 1	58
	marzo 2	56		marzo 2	58
	abril 1	57		abril 1	56
	abril 2	58		abril 2	56
	mayo 1	58		mayo 1	57
	mayo 2	59		mayo 2	57
	junio 1	4		junio 1	56
	junio 2	4		junio 2	55
	julio 1	5		julio 1	9
	julio2	5		julio2	9
agosto 1	27	agosto 1	29		
agosto 2	29	agosto 2	32		

Superficie infestada y ahorro económico

En cuanto al ahorro económico y el impacto ambiental, hacer una aplicación tomando en cuenta los mapas de infección se puede ahorrar más de \$600 y 0.5 litros de producto por aplicación, por las cuatro aplicaciones como mínimo que se realizan al año para control de la enfermedad en el estado (Tabla 5). Tomando en cuenta que son pequeños productores en su mayoría y que el mercado es reducido, un ahorro de este tamaño se hace significativo, y reduce los costos de producción a través. Además, el ahorro ambiental al dejar de tirar producto innecesario se hace notable a corto y mediano plazo reduciendo el riesgo de contaminación de suelo y agua por arrastre de las lluvias y deriva del producto en la aplicación. Un enfoque focalizado y dirigido de estas actividades de control de roya, como el propuesto por la agricultura de precisión a través del manejo solo de las áreas prioritarias mostradas en los mapas de infección, es capaz de reducir significativamente la dependencia de insumos externos, reduciendo el costo de producción y el daño ambiental, de esta forma se puede encaminar los sistemas de cultivo del café hacia la sustentabilidad, sumado a esto los beneficios a la salud se harán evidentes debido a que el riesgo de residualidad de pesticidas en el grano será eventualmente menos, como lo encontrado por Bonilla en 2015 en un estudio de los beneficios de la agricultura de precisión en un cultivo de arroz en Uruguay en donde se realizó un análisis económico que evidenció lo conveniente de usar tecnologías y técnicas asociadas a la agricultura de precisión.

Conclusiones

Los métodos no espaciales presentaron serias deficiencias y limitaciones para evaluar la distribución de roya del café, a diferencia del método espacial que permitió determinar perfectamente el tipo de distribución. El análisis geoestadístico indicó alta dependencia espacial.

Los índices de dispersión y las distribuciones estadísticas mostraron de manera general un comportamiento agregado de la roya. Los centros de agregación son aleatorios y se presentan como focos de infección dentro de la parcela. Los mapas son una herramienta útil para calcular un ahorro económico basado en la superficie infestada.

Es importante conocer el porcentaje de infección, así como la ubicación de los focos de infección y el proceso epidemiológico de la enfermedad, y de esta manera realizar un control dirigido que permita un ahorro económico y menor deterioro al ambiente al reducir la cantidad de químicos a aplicar.

Tabla 5. Porcentaje de superficie infestada y ahorro económico y de cyproconazol en cuatro aplicaciones al año por parcela con un método convencional y otro considerando los mapas de infección por fecha de muestreo

Muestreo	Superficie infestada %	Costo en agricultura (pesos /ha)	
		Convencional	Precisión
<i>Parcela 1</i>			
Marzo 1	54	825	445.5
Junio 1	7	825	57.75
Julio 1	8	825	66
Agosto 1	62	825	511.5
<i>Parcela 2</i>			
Marzo 1	73	825	602.25
Junio 1	7	825	57.75
Julio 1	5	825	41.25
Agosto 1	55	825	453.75
<i>Parcela 3</i>			
Marzo 1	52	825	429
Junio 1	11	825	90.75
Julio 1	10	825	82.5
Agosto 1	29	825	239.25
<i>Parcela 4</i>			
Marzo 1	49	825	404.25
Junio 1	10	825	82.5
Julio 1	9	825	74.25
Agosto 1	20	825	165
<i>Parcela 5</i>			
Marzo 1	55	825	453.75
Junio 1	4	825	33
Julio 1	5	825	41.25
Agosto 1	27	825	222.75
<i>Parcela 6</i>			
Marzo 1	58	825	478.5
Junio 1	56	825	462
Julio 1	9	825	74.25
Agosto 1	29	825	239.25

Tabla 5. Continuación

Muestreo	Ahorro (pesos /ha)	Fungicida aplicado (l/ha)		Ahorro en fungicida (l/ha)
		Convencional	Precisión	
<i>Parcela 1</i>				
Marzo 1	379.5	0.5	0.27	0.23
Junio 1	767.25	0.5	0.035	0.465
Julio 1	759	0.5	0.04	0.46
Agosto 1	313.5	0.5	0.31	0.19
<i>Parcela 2</i>				
Marzo 1	222.75	0.5	0.365	0.135
Junio 1	767.25	0.5	0.035	0.465
Julio 1	783.75	0.5	0.025	0.475
Agosto 1	371.25	0.5	0.275	0.225
<i>Parcela 3</i>				
Marzo 1	396	0.5	0.26	0.24
Junio 1	734.25	0.5	0.055	0.445
Julio 1	742.5	0.5	0.05	0.45
Agosto 1	585.75	0.5	0.145	0.355
<i>Parcela 4</i>				
Marzo 1	420.75	0.5	0.245	0.255
Junio 1	742.5	0.5	0.05	0.45
Julio 1	750.75	0.5	0.045	0.455
Agosto 1	660	0.5	0.1	0.4
<i>Parcela 5</i>				
Marzo 1	371.25	0.5	0.275	0.225
Junio 1	792	0.5	0.02	0.48
Julio 1	783.75	0.5	0.025	0.475
Agosto 1	602.25	0.5	0.135	0.365
<i>Parcela 6</i>				
Marzo 1	346.5	0.5	0.29	0.21
Junio 1	363	0.5	0.28	0.22
Julio 1	750.75	0.5	0.045	0.455
Agosto 1	585.75	0.5	0.145	0.355

Fuentes consultadas

- Alves, M. C., Pozza, E. A., Machado, J. C., Araújo, D. V., Talamini, V., & Oliveira, M. S. (2006). Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. *Fitopatologia Brasileira*, 31, 557-563.
- Barrera, J. F., Avelino, J., Huerta, G., Herrera, J., & Gómez, J. (2013). La roya del café, crónica de una devastación anunciada. *Ecofronteras*, 22-25.
- Cristancho, MA, Roza, Y, Escobar, Rivillas C, CA, and Gaitán, AL. 2012. Outbreak of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in Colombia. *New Disease Reports* 25, 19. [doi:10.5197/j.20440588.2012.025.019].
- SIAP. 2020. Anuario estadístico de la producción agrícola. www.siap.gob.mx (consulta: 17 marzo 2020).
- EPPO. 2014. European and Mediterranean Plant Protection Organization. En línea: <http://www.eppo.int>. Fecha de consulta: Enero de 2020.
- Ramírez Dávila, J. F., & Porcayo Camargo, E. (2010). Estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. *Bosque (Valdivia)*, 31(1), 28-38.
- Rivillas, O.C., Serna, G.C. Cristancho, A.M. y Gaitán, B.A. 2011. La roya del Cafeto en Colombia (Impacto manejos y costos del control, resultados de investigación). Centro Nacional de Investigación del Café (Cenicafe) chinina, Cladas, Colombia. 53 pp.
- Rayner, R. W. 1961. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.) *Annals of Applied Biology* 49, 497-505.
- Cardoso, S. A. 1999. Amatepec. Monografía Municipal. Instituto Mexiquense de la Cultura. Primera Edición. Toluca, Estado de México.
- https://sic.gob.mx/ficha.php?table=fondo_editorial&table_id=406 [Fecha revisión: 12 mayo 2022].
- Chilés, J. P. y Delfiner, P. 1999. *Geostatistics: Modeling spatial uncertainty*. John Wiley & Sons, Nueva York. Pp.695. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tZl07WdjYHgC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Chil%C3%A9s,+J.+P.+y+Delfiner,+P.+1999.+Geostatistics:+Modeling+spatial+uncertainty.+John+Wiley+%26+Sons,+Nueva+York.+Pp.695&ots=kMFAVQaMHh&sig=M13W1dt7tLDe1Oj41scwSlXfeII#v=onepage&q&f=false>

- Southwood TR. 1978. *Ecological Methods*. New York, USA. Wiley/Halsted. 524 p.
- Taylor L. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* 29: 321-357.
- Ramírez-Dávila, J. F., & Porcayo-Camargo, E. L. V. I. A. (2009). Estudio de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en el Nevado de Toluca, México, utilizando el Método del SADIE. *Madera y bosques*, 15(2), 93-112.
- Jimenez-Pino, A., Maistrello, L., Lopez-Martinez, M. A., Ocete-Rubio, M. E., & Soria-Iglesias, F. J. (2011). Spatial distribution of *Cydia fagiglandana* (Zeller) in an exploited holm oak (*Quercus ilex* L.) forest. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(2), 570-579.
- Oliver, M. & R. Webster. 1991. How geostatistics can help you. *Soil Use and Management*, 7: 206-217
- Aguilera, G. M., Sánchez, G. A., Ramos, C. M., & González, L. R. J (2015). Protocolo de delimitación de focos (pdf) de roya del cafeto (*hemileia vastatrix*) en zonas cafetaleras de Chiapas, Veracruz y Puebla.
- Jiménez, R. A., Ramírez, J. F., Sánchez, J. R., Salgado, M. L., Laguna, A. (2013) Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Revista Colombiana de Entomología*, 39, 183-192. [Links]
- Acevedo-Sánchez G. y Mora-Aguilera 2016. Desarrollo de REG-N Café v1.0 para determinar n-sitios de monitoreo-muestreo regional de Roya del Cafeto en México usando criterios epidemiológicos ponderados. In. 49° Congreso Brasileiro de Fitopatología, 29 agosto – 01 septiembre. Alagoas Maceio. Brasil.
- Acosta-Guadarrama, A. D., Ramírez-Dávila, J. F., Rivera-Martínez, R., Figueroa-Figueroa, D. K., Lara-Díaz, A. V., Maldonado-Zamora, F. I., & Tapia-Rodríguez, A. (2017). Distribución Espacial de *Trips* spp. (Thysanoptera) y Evaluación de su Control Mediante el Depredador *Amblyseius swirskii* en el Cultivo de Aguacate en México. *Southwestern Entomologist*, 42(2), 435-446.
- APS (2011). The American Phytopathological Society. Coffee rust (*Hemileia vastatrix*). En línea:<http://www.apsnet.org/edcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/CoffeeRust.aspx>. Fecha de consulta: 08 de septiembre de 2020.

- Bonilla, C., Terra, J. A., Gutiérrez, L., & Roel, Á. (2015). Cosechando los beneficios de la agricultura de precisión en un cultivo de arroz en Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 19(1), 112-121.
- Cole, L. 1946. A theory for analyzing contagiously distributed populations. *Ecology*. 27: 329 -341.
- Cárdenas Pardo NJ, Darghan A, Sosa Rico MD, Rodríguez A. 2017. Análisis espacial de la incidencia de enfermedades en diferentes genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en El Yopal (Casanare), Colombia. *Acta biol. Colomb.* 22(2):209-220. DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v22n2.61161>.
- Coria-Contreras, J., Mora-Aguilera, g., Martínez-Bolaños, m., Guzmán-Deheza, a., Acevedo-Sánchez, g. y Flores-Sánchez, J. 2014. Fluctuación estacional de uredosporas de *Hemileia vastatrix* en el Soconusco, Chiapas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 32 (S):42.
- Chilés y Delfiner, P. 1999. *Geostatistics: Modeling spatial uncertainty*. John Wiley & Sons, Nueva York. Pp.695.
- Gallardo A. 2006. Geostatística. Departamento de Ecología y Biología Animal. Facultad de Biología, Campus de Lagoas-Marcosende, Universidad de Vigo, 36310 Vigo. Departamento de Sistemas Físicos, Químicos y Naturales, Universidad Pablo de Olavide. . Ecosistemas. 2006/3 (URL: http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=431&Id_Categoria= 1&ti-po=portada
- Hevesi, j., Istok, j. y Flint, A. 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics. Part. I. Structural analysis. *Journal of Applied Meteorology*. 31 (7): 661 -680.
- Isaaks, e. h. y Srivastava, R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, Nueva York. Pp.561.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), (2014). MANUAL DE DEPRECISIÓN AGRICULTURA, Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur.
- López-Granados, f., Jurado-Expósito, m., Atenciano, s., García-Ferrer, a., Sánchez, m. y García-Torres, L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*. 246: 97-105.
- Maldonado fi, Ramírez jf, Lara av, Acosta da, Rivera r y Rodríguez tA (2017). Mapeo de la distribución espacial de trips (Insecta: Thysanoptera) en parcelas comerciales de aguacate Var. Hass en Coatepec Harinas, Estado de México. *Ecosistemas* 26(2): 52-60. <https://doi.org/19.7818/ECOS.2017.26-2.06>

- Moral G. F. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Revista Ecosistemas*. 13 (1): 78-86.
- Mora-Aguilera, g., Acevedo-Sánchez g., Gloria Contreras j., González-Gómez r., López-Buenfil, a. y Javier – López, M., A. 2015. Aertas tempranas para el manejo de focos de roya del cafeto en México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 33 (S): 62
- Perry, n. y Klukowsky, Z. 1997. Spatial distributions of counts at the edges of sample areas. VI Conferencia de la sociedad de biometría. Córdoba, España. Pp. 103- 108.
- Ramírez-Dávila, j. f., González-Andujar, j. l., López, m. a., y Ocete, R. 2005. Modelización y mapeo de la distribución espacial de las ninfas del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon) (Hemiptera: Cicadellidae) en viñedo. *Bol. San. Veg. Plagas*. 31: 119-132.
- Ramírez-Dávila, J. F., González-Andujar, J. L., Ocete, R. y López, M. A. (2002). Descripción geoestadística de la distribución espacial de los huevos del mosquito verde *Jacobiasca lybica* (Bergevin & Zanon) (Homoptera: Cicadellidae), en viñedo: modelización y mapeo. *Boletín de Sanidad Vegetal Plagas*. 28:235-240.
- Rossi, R., Mulla, J., Journel, G. y Franz, H. 1992. Geostatistical Tools for Modeling and interpreting Ecological Spatial Dependence. *Ecological Monographs*, 62: 277-314.
- SENASICA 2018. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. <https://www.gob.mx/senasica> (consulta: 2 junio 2018).
- SIAP 2019. Anuario estadístico de la producción agrícola. www.siap.gob.mx (consulta: 17 marzo 2019).
- Syrjala, E. 1996. A statistical test for a difference between the spatial distributions of two populations. *Ecology*. 77 (1): 75-80.
- Tannure, C. L., Mazza, S. M. Y Giménez, L.I. Modelos para caracterizar los patrones de distribución espacial de *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae), en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum*).
- Trematerra, P. Y Sciarretta, A. 2002. Spatial distribution of some beetles infesting a feed mill with spatio-temporal dynamics of *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum*. *Journal of Stored Products Research*. 40: 363-377. a arabica

Estudio del comportamiento espacial de la enfermedad Mancha de Hierro *Mycosphaerella Coffeicola* en cafetales del municipio de Amatepec

María Teresa Lugo Coyote¹
Martín Rubí Arriaga²
José Francisco Ramírez Dávila²
Francisco Gutiérrez Rodríguez²

Introducción

La caficultura se considera una actividad estratégica en el país, debido a que permite la integración de cadenas productivas, la generación de divisas y empleos, el modo de subsistencia de muchos pequeños productores y, en forma reciente, de enorme relevancia ecológica, pues más del 90% de la superficie cultivada con café se encuentra bajo sombra diversificada, que contribuye considerablemente a conservar biodiversidad y como proveedor de vitales servicios ambientales a la sociedad (Escamilla *et al.*, 2005).

Actualmente México es el noveno productor de esta bebida en el mundo; con un volumen de 953,682.9 t, en grano de café “verde”, con la primera posición entre los productores de café orgánico. Del total de exportaciones mexicanas de café el 53.85% se destina a Estados Unidos; el volumen restante, a países miembros de la Unión Europea y otros como Japón, Cuba y Canadá.

La producción de café en el Estado de México, era solamente de traspatio para consumo doméstico, no se había visualizado con un enfoque comercial dentro de la entidad, con el paso del tiempo algunos productores se han interesado en su producción y comercialización en merca-

¹ Estudiante del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: leguizamo-uaemex@hotmail.com

² Profesores-Investigadores de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo”, El Cerrillo, Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. Carretera Federal: Toluca-Ixtlahuaca Km. 115. CP. 50200. Tel. 7222965529. E-mail: mrubia@uaemex.mx; jframirez@uaemex.mx; mlsalgados@uaemex.mx

dos nacionales e Internacionales. El café mexicano es de altura, por ello, su calidad es superior por lo que tiene atributos para competir a nivel internacional.

Entre los principales problemas que enfrentan los productores de café son las patologías que se presentan en cada ciclo, cobra particular relevancia la Mancha de Hierro, producida por un hongo parásito facultativo, que presenta en su ciclo de vida dos estados reproductivos, el estado sexual o teleomorfo causado por *Mycosphaerella coffeicola* (*M. coffea*) y el estado asexual o anamorfo ocasionado por *Cercospora coffeicola* (López-Guzmán *et al.*, 2008). El daño que ocasiona la enfermedad es la defoliación, lo cual hace que disminuya notablemente el área fotosintética de la planta y una reducción del crecimiento de esta (SENASICA, 2016). Ataca hojas y frutos en todos los estados de desarrollo con alta incidencia y severidad. En la etapa de almácigo puede causar defoliación de la planta hasta del 90% y en plantaciones a libre exposición solar y con limitación en la disponibilidad de nutrimentos, origina pérdidas hasta del 30% en la cosecha, con deficiencias hídricas y nutritivas, puede afectarse la totalidad de la cosecha y provocar pérdidas económicas (Rengifo-Guzmán *et al.*, 2002). Los cafetales con mal manejo agronómico son los más susceptibles al no realizar las podas adecuadas y fertilizaciones correctas.

El monitoreo de las plagas y enfermedades, no solo en el cultivo del café debería ser un procedimiento crucial, debido a que es determinante para el desarrollo de alternativas que mitiguen el impacto al ambiente, desde una perspectiva holística agrícola es de mayor utilidad ser preventivo que correctivo, teniendo una producción más amigables al ambiente, con ahorro económico, con ello se puede tener un panorama de cómo se encuentra distribuido dentro de las parcelas (Higuera y García, 2014).

Para poder utilizar adecuadamente la información derivada del monitoreo es necesario establecer puntos de muestreos que generen datos fehacientes con los cuales se podrá visualizar el comportamiento espacial (Maldonado Zamora *et al.*, 2017).

La infestación de esta plaga hace importante implementar actividades que permitan conocer la ubicación del hongo, ya que es un procedimiento importante en el manejo de este problema. El objetivo de este trabajo fue establecer y modelar mediante el método geostadístico la distribución espacial del hongo mancha de hierro *Mycosphaerella Coffeicola* en cafetales del municipio de Amatepec, Estado de México.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en la zona productora de café en el municipio de Amatepec Estado de México, donde se seleccionaron seis parcelas comerciales de café de las variedades caturra y típica. Cada parcela constó de media hectárea y se dividieron en cuadrantes de 10 x 10 m, para tener un total de 50 cuadrantes por parcela. Mediante el método de muestreo de cuadrantes, se seleccionaron dos arbustos por cuadrante, para un total de 100 arbustos en cada parcela observada (Jiménez C. *et al.*, 2013; Maldonado Zamora *et al.*, 2017).

En las seis parcelas se realizaron muestreos catorcenales durante seis meses y para cada uno de ellos se contabilizaron tres hojas dañadas tomado una bandola orientada hacia cada uno de los puntos cardinales dividiendo el arbusto en estrato medio, alto y bajo; dando un total de 36 hojas observadas por arbusto (Tapia Rodríguez *et al.*, 2020). Cada uno de estos fue georreferenciado con un sistema de posicionamiento global diferencial (DGPS) es una mejora del sistema de posicionamiento global (GPS) que proporciona una mayor precisión de ubicación, en el rango de operaciones de cada sistema, desde la precisión GPS nominal de 15 metros (49 pies) hasta aproximadamente 1-3 centímetros (0,39-1,18 pulgadas) en caso de las mejores implementaciones DGPS, los cuales fueron marcados y registrados para la obtención de los datos obtenidos (Rivera-Martínez *et al.*, 2018).

Estadística clásica

La estadística clásica utiliza dos métodos generales para establecer la distribución espacial de los organismos observados (Binomial Negativa y Poisson) y los índices de dispersión (de dispersión y de Green); ambos se manejaron para este estudio, para realizar la comparación pertinente entre los datos obtenidos con la estadística no espacial y estadística espacial. Para todas las distribuciones estadísticas se utilizó el programa MLP de máxima verosimilitud (Rossi *et al.*, 1992) para ajustar los modelos a los datos perfilados. La bondad de ajuste fue explorada con un test χ^2 (Sokal y Rohlf, 1995).

Análisis geoestadístico

Se obtuvo la estimación de los semivariogramas experimentales de cada muestreo de Mancha de Hierro y se ajustaron a los modelos preestablecidos en el *software variowin 2.2* (Software for spatial data analysis in

2D. New York, EEUU), estos se estimaron y modelizaron. Una vez obtenida la estimación del semivariograma se puede deducir el error que se comete cuando se asigna el valor promedio de una serie de valores puntuales a un dominio mayor y se calcula mediante la siguiente fórmula (Isaaks y Srivastava, 1989; Journel, A. G., Huijbregts, 1978).

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2$$

dónde: γ^* es el valor experimental del semivariograma para el intervalo de distancia h ; $n(h)$ es el número de pares de puntos muestrales separados por el intervalo de distancia h ; $z(x_i)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestral x_i y $z(x_i + h)$ es el valor de la variable de interés en el punto muestra $x_i + h$.

Estimación de los parámetros del modelo del semivariograma

Los modelos teóricos comúnmente utilizados para ajustar los semivariogramas experimentales son: el esférico, el exponencial, el gaussiano, el lineal entre otros. Los cuales se obtienen con la herramienta de Kriging, permitiendo elegir el modelo que más se ajuste (Englund y Sparks, 1988), se utilizó el programa Variowin versión 2.2.

Validación del modelo teórico

Se realizó un procedimiento de validación cruzada, en el cual los parámetros del modelo a validar (C_0 , efecto pepita, C , meseta y rango o alcance) los cuales se fueron modificando hasta obtener los estadísticos de validación cruzada convenientes:

Los valores de validación cruzada son:

a) Media de los errores de estimación (MEE):

$$MEE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]$$

donde: $z^*(x_i)$ es el valor estimado de la variable de interés en el punto x_i ; $z(x_i)$ es el valor medio de la variable de interés en el punto x_i y n es el número de puntos muestrales utilizado en la interpolación de MEE;

no debe ser significativamente distinta de 0 (prueba de t), en cuyo caso indicará que el modelo de semivariograma permite el cálculo de estimadores no sesgados.

b) Error cuadrático medio (ECM):

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z^*(x_i) - z(x_i)]^2$$

Un modelo de semivariograma se considera adecuado si, como regla práctica, el valor del estadístico es cercano a cero Hevesi *et al.*, (1992).

c) Error cuadrático medio adimensional (ECMA)

$$ECMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[z^*(x_i) - z(x_i)]^2}{\sigma_k}$$

donde: σ_k es la desviación estándar del error esperado en la estimación con el Krigado. La validez del modelo se satisface si ECMA está comprendido entre los valores $1 \pm 2 (2/N)^{0.5}$. Otro estadístico para validar el ajuste del modelo consiste en que el valor de la varianza de los errores sea menor a la varianza muestral.

Nivel de dependencia espacial

Con la finalidad de determinar la relación entre los datos de muestreo, fue significativo establecer el nivel de dependencia espacial. Los valores se obtuvieron al dividir el efecto pepita entre la meseta y expresando el porcentaje de resultado. Si el resultado es menor de 25% el nivel de dependencia espacial es alta, si se encuentra entre 26% y 75% el nivel es moderado y bajo si es mayor del 76% es bajo (Cambardella *et al.*, 1994).

Elaboración de mapas

Los mapas se realizaron mediante la interpolación de valores a través del krigado ordinario que permite la estimación no sesgada de valores asociados a puntos que no fueron muestreados debido a que se conocen los valores de media y varianza muestral con base a lo establecido por Samper y Carrera (1996). Con la cual finalmente, se estableció la superficie infestada de las estimaciones las cuales son representadas con los mapas

obtenidos de cada parcela muestreada; los mapas se obtuvieron mediante el software Surfer 16.0 (Surface Mapping System, Golden Software).

Agricultura de Precisión (AP)

Estimación de la superficie infestada y evaluación económica y ambiental. Se estableció la superficie infestada de los mapas elaborados, utilizando el programa Surfer 9.0. Una vez obtenido el porcentaje de superficie infestada en cada uno de los mapas se calculó el costo de una aplicación normal de fungicida, tal como la realizan los agricultores en la zona, y el costo de una aplicación dirigida (sólo áreas infestadas). La diferencia entre ambos valores nos indicó el ahorro económico obtenido con la metodología de precisión. Igualmente, se procedió a realizar el cálculo correspondiente al ahorro en la cantidad de producto utilizado bajo ambas estrategias de control. De esta manera se tiene una idea de la disminución del impacto nocivo hacia el ambiente, ya que al reducir la cantidad de fungicida en el manejo de esta enfermedad, se reduce asimismo, el impacto ambiental (Ramirez Davila, J. Francisco; Porcayo Camargo, 2008).

Resultados

Con los datos obtenidos fue posible generar la modelización y mapeo del comportamiento espacial de la Mancha de Hierro, se estableció el porcentaje de infestación e incidencia por cada muestreo realizado en el municipio de Amatepec.

Estadística clásica

De acuerdo con el tipo de distribución espacial de la Mancha de Hierro obtenida en cada uno de los muestreos de las parcelas experimentales, los resultados se hallan registrados en la Tabla 1. El índice de dispersión señala que en la mayoría de los muestreos se encontró una distribución agregada de Mancha de Hierro, no obstante, también hubo una distribución aleatoria, siendo estos para el caso de la parcela uno de los muestreos (seis, nueve y once); con respecto a la parcela dos en los muestreos (cinco y ocho); en la parcela tres en los muestreos (tres, ocho y once; así mismo para la parcela cuatro en los muestreos (nueve y once); para la parcela cinco en los muestreos (cinco, diez y doce) y por último para la parcela seis en los muestreos (siete y nueve).

Por otra parte, con respecto al índice de Green, se confirma dicha agregación, con relación con los muestreos hechos (Tabla 1). Con respecto a los muestreos que se realizaron, se identifica que la agregación en algunos muestreos era leve; no obstante también se presentaron muestreos donde el comportamiento espacial de la enfermedad está distribuida en la parcela de café de manera aleatoria: para la parcela uno en los muestreos (dos, cuatro y nueve); para la parcela dos en los muestreos (uno y nueve); con relación a la parcela tres en los muestreos (cinco y nueve); con respecto a la parcela cuatro en los muestreos (tres, cuatro y ocho); para la parcela cinco en los muestreos (dos, seis y nueve) y por último en la parcela seis en los muestreos (dos y diez). Estos datos un tanto discordantes señalan algunas limitaciones de estos métodos para determinar con precisión la distribución espacial del hongo Mancha de hierro.

Por otro lado, con base a las distribuciones estadísticas, los resultados indican que en la parcela uno en los muestreos (uno, dos, cuatro, cinco, ocho, nueve, diez, once y doce); con respecto a la parcela dos en los muestreos (uno, dos, tres, cinco, seis, siete, ocho, nueve, once y doce); en la parcela tres en los muestreos (uno, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho, nueve y doce); en la parcela cuatro en los muestreos (dos, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho, nueve, once y doce); para la parcela cinco en los muestreos (uno, tres, cuatro, seis , siete, ocho , diez, once y doce); en la parcela seis en los muestreos (dos, tres, cuatro, seis, siete, ocho, diez, once y doce); se ajustaron a una distribución binomial negativa (agregación) a los datos.

Por otra parte, en la parcela uno en el muestreo seis; parcela tres en los muestreos (dos y diez); en la parcela cinco en los muestreos (dos y cinco), en los muestreos anteriores se efectuó el ajuste a la distribución de Poisson (aleatoria), por lo que en este caso no se puede discernir una distribución real de Mancha de hierro en las parcelas monitoreadas, ya que resulta imposible que la enfermedad presente al mismo tiempo dos distribuciones espaciales. Quizás la explicación a dicha dualidad puede estar en los valores altos que presenta el parámetro k , como es relativamente el caso, la Binomial Negativa tiende a la distribución de Poisson, por lo que al realizar el ajuste estadístico por máxima verosimilitud se ajusten a ambos modelos indistintamente.

Tabla 1. Índices de dispersión y distribuciones estadísticas de la distribución espacial de *Mycosphaerella coffeicola* Cooke

Parcela 1	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
(1) Sep-01	1.68s	0.21	NS	S	2.68
(2) Sep-02	2.08s	0	NS	S	3.17
(3) Oct-03	1.33s	0.69	NA	NA	-
(4) Oct-04	1.47s	0	NS	S	5.22
(5) Nov-05	2.52s	0.75	NS	S	1.05
(6) Nov-06	0.77ns	0.25	S	S	25.02
(7) Dic-07	2.88s	0.92	NA	NA	-
(8) Dic-08	2.67s	0.73	NS	S	8.41
(9) Ene-09	0.51ns	0	NS	S	6.11
(10) Ene-10	1.37s	0.44	NS	S	7.19
(11) Feb-11	0.24ns	0.15	NS	S	2.96
(12) Feb-12	3.12s	0.94	NS	S	8.26

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Tabla 1. Continuación

Parcela 2	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
(1) Sep-01	1.77s	0	NS	S	0.57
(2) Sep-02	2.48s	0.24	NS	S	1.72
(3) Oct-03	1.61s	0.92	NS	S	10.04
(4) Oct-04	2.88s	0.73	NA	NA	-
(5) Nov-05	0.54ns	0.17	NS	S	4.23
(6) Nov-06	3.07s	0.49	NS	S	2.08
(7) Dic-07	2.67s	0.11	NS	S	8.22
(8) Dic-08	0.33ns	0.98	NS	S	7.19
(9) Ene-09	2.25s	0	NS	S	4.74
(10) Ene-10	1.57s	0.57	NA	NA	2.73
(11) Feb-11	3.07s	0.49	NS	S	2.08
(12) Feb-12	2.48s	0.24	NS	S	1.72

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Tabla 1. Continuación

Parcela 3	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
(1) Sep-01	2.63s	0.55	NS	S	4.25
(2) Sep-02	1.09s	0.42	S	S	29.69
(3) Oct-03	0.27ns	0.87	NS	S	10.66
(4) Oct-04	3.29s	0.27	NS	S	7.36
(5) Nov-05	2.44s	0	NS	S	2.08
(6) Nov-06	1.53s	0.63	NS	S	1.54
(7) Dic-07	2.78s	0.72	NS	S	5.71
(8) Dic-08	0.66ns	0.16	NS	S	6.42
(9) Ene-09	1.40s	0	NS	S	9.11
(10) Ene-10	1.38s	0.95	S	S	36.15
(11) Feb-11	0.52ns	0.5	NA	NA	-
(12) Feb-12	1.57s	0.12	NS	S	6.01

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Tabla 1. Continuación

Parcela 4	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
(1) Sep-01	1.24s	0.65	NA	NA	-
(2) Sep-02	1.92s	0.24	NS	S	4.67
(3) Oct-03	1.57s	0	NS	S	1.83
(4) Oct-04	2.44s	0	NS	S	9.25
(5) Nov-05	1.73s	0.58	NS	S	5.66
(6) Nov-06	3.22s	0.33	NS	S	2.89
(7) Dic-07	2.94s	0.81	NS	S	1.92
(8) Dic-08	1.77s	0	NS	S	0.48
(9) Ene-09	0.70ns	0.95	NS	S	5.27
(10) Ene-10	1.24s	0.44	NA	NA	-
(11) Feb-11	0.54ns	0.59	NS	S	7.33
(12) Feb-12	2.85s	0.37	NS	S	2.21

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Tabla 1. Continuación

Parcela 5	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
(1) Sep-01	3.56	0.55	NS	S	0.93
(2) Sep-02	2.47	0	S	S	27.14
(3) Oct-03	1.73	0.41	NS	S	5.27
(4) Oct-04	1.89	0.95	NS	S	1.42
(5) Nov-05	0.43ns	0.36	S	S	33.61
(6) Nov-06	3.11	0	NS	S	8.49
(7) Dic-07	2.53	0.22	NS	S	5.27
(8) Dic-08	2.82	0.8	NS	S	1.94
(9) Ene-09	1.34	0	NA	NA	-
(10) Ene-10	0.81ns	0.11	NS	S	0.58
(11) Feb-11	1.07	0.32	NS	S	9.22
(12) Feb-12	0.56ns	0.66	NS	S	4.05

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Tabla 1. Continuación

Parcela 6	Índice de dispersión	Índice de Green	Poisson	Binomial negativa	<i>k</i>
(1) Sep-01	2.26s	0.56	NA	NA	-
(2) Sep-02	3.07s	0	NS	S	5.52
(3) Oct-03	3.45s	0.78	NS	S	8.13
(4) Oct-04	2.87s	0.31	NS	S	0.68
(5) Nov-05	1.44s	0.58	NA	NA	-
(6) Nov-06	2.02s	0.26	NS	S	1.45
(7) Dic-07	0.46ns	0.77	NS	S	7.06
(8) Dic-08	2.65s	0.14	NS	S	3.27
(9) Ene-09	0.22ns	0.84	NA	NA	-
(10) Ene-10	1.24s	0	NS	S	1.78
(11) Feb-11	2.21s	0.37	NS	S	0.42
(12) Feb-12	1.75s	0.99	NS	S	8.13

Mtreo.: S: significativo; NS: No significativo: nivel de significancia al 5%; NA: No ajustada.

Los resultados obtenidos por el índice de dispersión y el índice de Green, tampoco dejan clara su situación con respecto a los casos donde nos indican, por poner un ejemplo con respecto a la parcela uno muestreo seis, para el índice de dispersión indica aleatoriedad, y para el índice de Green indica agregación. Esta característica muestra nuevamente las contradicciones en las que se puede caer al usar estos métodos, señalándonos sus limitaciones.

Los datos obtenidos en la parcela uno en los muestreos (tres y siete); con respecto a la parcela dos en los muestreos (cuatro y diez); para la parcela tres, muestreo once; para la parcela cuatro en los muestreos (uno y diez); para la parcela cinco el muestreo diez y para la parcela seis en los muestreos (uno, cinco y nueve) no se pudieron ajustar a ninguna distribución estadística, ya que no fue posible obtener la correlación de los logaritmos de ajuste por máxima probabilidad. Esto es una prueba más de las limitaciones que presenta en uso de los métodos de la estadística no espacial.

De los mapas obtenidos con la técnica del Krigeado, se pueden visualizar los centros de agregación de la Mancha de Hierro, ya que con estos se interpola y se describe la continuidad espacial, llegando a conocer en tiempo real la forma en que varía la continuidad espacial (patrón espacial), con un nivel de detalle que permite cuantificar la variación en distintas direcciones del espacio, pudiendo interpolar sitios no muestreados, contando con una capacidad predictiva que tiene cada punto en función de la distancia que lo separa con otro punto, por lo tanto cada punto del espacio interpolado se le puede asociar una distancia teórica lo que permite realizar simulaciones probabilísticas, representando el resultado del krigeado como la probabilidad de que la variable alcance un determinado valor (Gallardo, 2006; Samper y Carrera, 1996).

Los mapas elaborados a partir del método de Krigeado Ordinario se observan en las Figuras 1, 2 y 3. En los mapas realizados se alcanza a distinguir los diferentes puntos de agregación de la enfermedad Mancha de Hierro en las diferentes parcelas estudiadas, cabe señalar que con estos mapas podemos identificar de modo visual como se va comportando de manera espacial la enfermedad, en razón del tiempo y los requerimientos Edafoclimáticos.

Los mapas obtenidos de la superficie infestada con Mancha de Hierro, con respecto a la parcela uno para los meses de septiembre, octubre y noviembre, la distribución de los centros de agregación o focos de infestación se distribuyen en las orillas izquierda y derecha, con una tendencia hacia el centro de la parcela, teniendo un comportamiento

similar en estos tres meses; para los meses de diciembre, enero y febrero, los centros de agregación se sitúan en la parte central del lado izquierdo con una tendencia a la parte superior del mismo, por otra parte en los meses de abril y mayo, cambian los focos de infestación situándose en el lado izquierdo del lado superior de la parcela (Figura 1).

En los mapas generados en la parcela cinco con respecto a los meses de septiembre a octubre, los centros de agregación presentan un comportamiento persistente en la parte central con una tendencia a la parte superior, en noviembre los focos de agregación se situaron en la parte inferior, por último, en los meses de enero y febrero se concentraron en la parte superior central y del lado izquierdo (Figura 3).

Los semivariogramas, con respecto a la parcela uno y dos se ajustaron en su totalidad al modelo esférico desde los meses de septiembre a febrero; con respecto a la parcela tres, en los muestreos de septiembres a diciembre de la primera quincena los modelos se ajustaron al modelo Gaussiano, en la segunda quincena de diciembre se ajustó al modelo esférico, por otra parte en la primera quincena de enero, se ajustó al modelo gaussiano, en la segunda semana de enero se ajustó al modelo esférico, con respecto a la primera quincena de febrero la parcela se ajustó al modelo gaussiano en la segunda quincena de febrero se ajustó al modelo exponencial, así sucesivamente en las parcelas restantes en sus muestreos correspondientes (Tabla 2).

El valor de efecto pepita fue igual a cero en todas las parcelas. Dicho valor es indicativo de que la escala de muestreo utilizada en el presente trabajo fue la adecuada y el error de muestreo fue mínimo (Tabla 2). En todos los modelos se presentó un alto nivel de dependencia espacial para cada una de las parcelas (Tabla 2). Los valores de rango se ubicaron con un valor mínimo 6 m y un máximo 15 m, en las diferentes parcelas, siendo este rango la distancia máxima hasta la cual existe relación espacial entre los datos.

La aplicación de los métodos de geoestadística nos permite determinar el uso correcto de las técnicas de mantenimiento, así como la aplicación de productos agroquímicos a las áreas donde se encuentra la infección de la Mancha de Hierro, lo que genera reducción de costos de inversión con respecto al mantenimiento, de igual manera una menor emisión de productos químicos a el ambiente generando un cuidado responsable.

Figura 1. Mapas de densidad de infección de la mancha de hierro en los muestreos de las parcelas 1 y 2, del municipio de Amatepec, Méx.

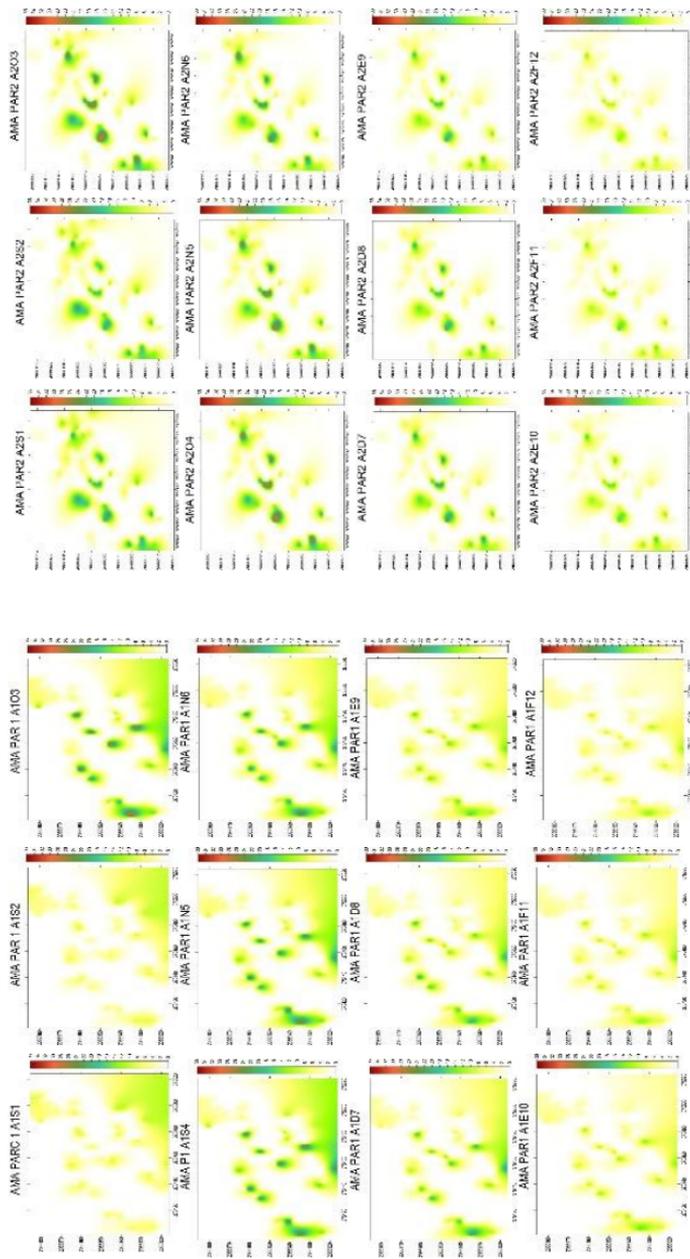


Figura 2. Mapas de densidad de infección de la mancha de hierro en los muestreos de las parcelas 3 y 4, del municipio de Amatepec, Méx.

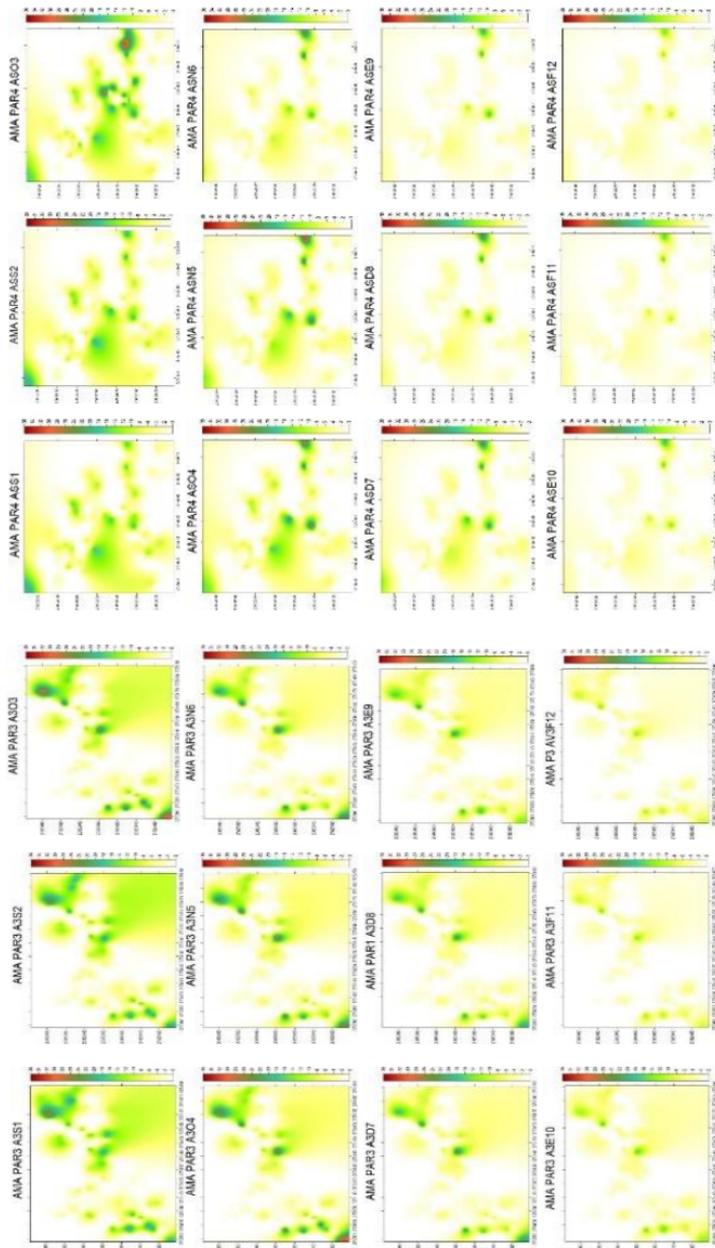


Figura 3. Mapas de densidad de infección de la mancha de hierro en los muestreos de las parcelas 5 y 6, del municipio de Amatepec, Méx.

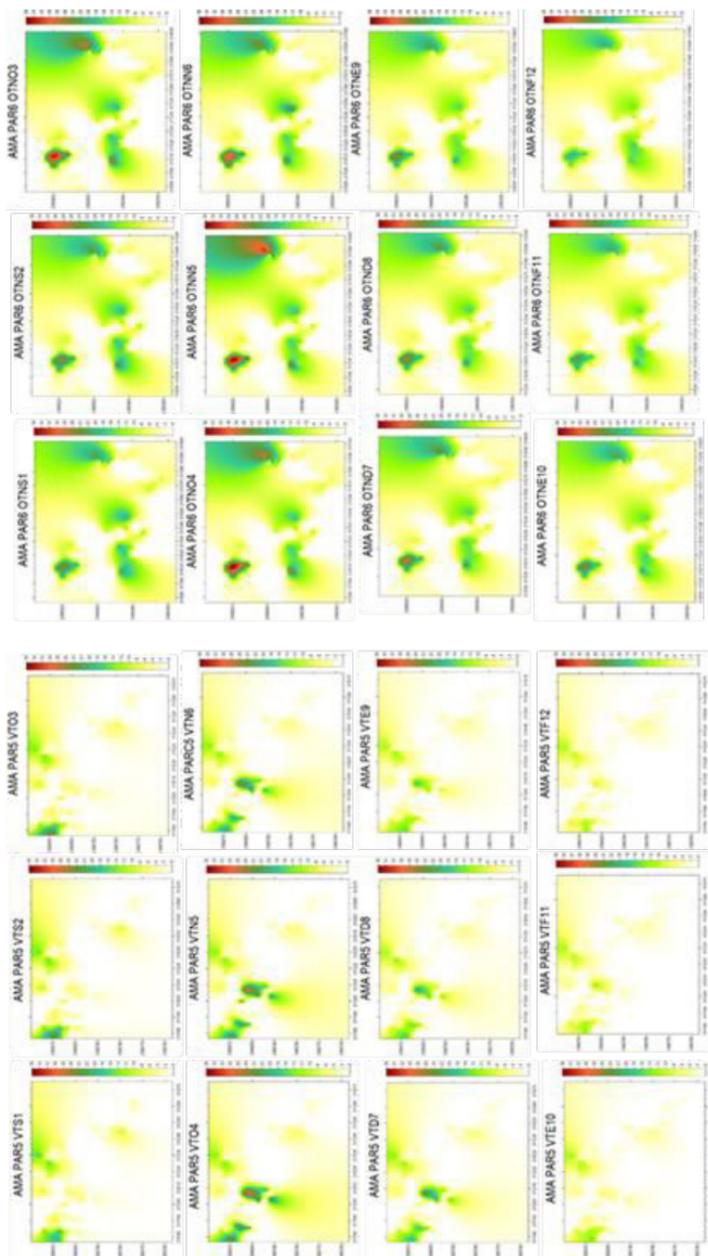


Tabla 2. Parámetros (Efecto pepita, meseta y rango) de los modelos ajustados a los semivariogramas de *Mycosphaerella Coffeticola*

Parcela I Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	3.43	39.28	Esférico	0	77.44	12.6	0	Alta
(2) Sep-02	3.21	35.77	Esférico	0	75.53	11.99	0	Alta
(3) Oct-03	3.03	33.62	Esférico	0	71.34	12.6	0	Alta
(4) Oct-04	3.17	35.66	Esférico	0	69.66	12.59	0	Alta
(5) Nov-05	3.03	31.85	Esférico	0	66.22	15	0	Alta
(6) Nov-06	2.84	29.08	Esférico	0	61.19	13.19	0	Alta
(7) Dic-07	2.62	26.71	Esférico	0	64.6	9.2	0	Alta
(8) Dic-08	2.47	24.14	Esférico	0	58.88	13.8	0	Alta
(9) Ene-09	2.41	22.32	Esférico	0	52.2	13.2	0	Alta
(10) Ene-10	2.27	19.81	Esférico	0	46.8	13.8	0	Alta
(11) Feb-11	2.16	17.51	Esférico	0	40.94	12.6	0	Alta
(12) Feb-12	2.03	14.51	Esférico	0	31.15	10.8	0	Alta

Tabla 2. Continuación

Parcela 2 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	2.48	27.47	Esférico	0	80	8.99	0	Alta
(2) Sep-02	2.37	25.55	Esférico	0	74.62	11.4	0	Alta
(3) Oct-03	2.25	23.66	Esférico	0	69.72	9.59	0	Alta
(4) Oct-04	2.06	21.01	Esférico	0	61.5	11.21	0	Alta
(5) Nov-05	1.93	18.89	Esférico	0	54.4	9	0	Alta
(6) Nov-06	1.77	16.61	Esférico	0	48.79	11.4	0	Alta
(7) Dic-07	1.64	15.17	Esférico	0	44.79	9	0	Alta
(8) Dic-08	1.54	13.99	Esférico	0	41.6	9	0	Alta
(9) Ene-09	1.41	12.71	Esférico	0	37.44	9	0	Alta
(10) Ene-10	1.31	10.95	Esférico	0	32.76	9.59	0	Alta
(11) Feb-11	1.98	5.53	Esférico	0	12.9	9.6	0	Alta
(12) Feb-12	1.27	4.92	Esférico	0	9.02	12.98	0	Alta

Tabla 2. Continuación

Parcela 3 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	4.83	33.96	Gaussiano	0	78.3	7.79	0	Alta
(2) Sep-02	4.79	30.69	Gaussiano	0	65.25	7.2	0	Alta
(3) Oct-03	4.15	24.31	Gaussiano	0	53.07	7.2	0	Alta
(4) Oct-04	3.46	19.4	Gaussiano	0	45.23	7.1	0	Alta
(5) Nov-05	3.11	15.52	Gaussiano	0	36.48	8.4	0	Alta
(6) Nov-06	2.86	12.8	Gaussiano	0	29.92	7.8	0	Alta
(7) Dic-07	2.68	10.73	Gaussiano	0	24.36	8.44	0	Alta
(8) Dic-08	2.54	9.39	Esférico	0	21.12	12	0	Alta
(9) Ene-09	2.42	8.28	Gaussiano	0	12.9	7.8	0	Alta
(10) Ene-10	1.98	5.53	Esférico	0	12.9	9.6	0	Alta
(11) Feb-11	1.27	3.49	Gaussiano	0	8.53	6	0	Alta
(12) Feb-12	1.25	3.37	Exponencial	0	8.09	6.6	0	Alta

Tabla 2. Continuación

Parcela 4 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	4.01	24.41	Exponencial	0	49.84	10.62	0	Alta
(2) Sep-02	3.62	19.33	Esférico	0	38.27	10.62	0	Alta
(3) Oct-03	3.5	18.93	Esférico	0	40.48	10.03	0	Alta
(4) Oct-04	3.1	15.3	Exponencial	0	31.68	11.8	0	Alta
(5) Nov-05	2.66	11.84	Exponencial	0	26.1	11.2	0	Alta
(6) Nov-06	1.97	6.46	Esférico	0	15.48	10.02	0	Alta
(7) Dic-07	2.14	8.91	Esférico	0	20.01	10.02	0	Alta
(8) Dic-08	1.49	4.93	Gaussiano	0	12.04	9.43	0	Alta
(9) Ene-09	1.27	4.92	Esférico	0	9.02	12.98	0	Alta
(10) Ene-10	1.22	4.07	Esférico	0	7.47	13.57	0	Alta
(11) Feb-11	1.19	3.5	Gaussiano	0	6.3	10.61	0	Alta
(12) Feb-12	1.16	3.11	Gaussiano	0	5.73	10.03	0	Alta

Tabla 2. Continuación

Parcela 5 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	2.02	10.41	Esférico	0	15.84	10.2	0	Alta
(2) Sep-02	2.01	9.74	Esférico	0	14.94	7.13	0	Alta
(3) Oct-03	1.94	8.53	Esférico	0	13.44	7.02	0	Alta
(4) Oct-04	1.79	7.39	Esférico	0	11.85	7.48	0	Alta
(5) Nov-05	1.76	7.29	Esférico	0	11.2	6.12	0	Alta
(6) Nov-06	1.76	7.37	Esférico	0	11.12	8.31	0	Alta
(7) Dic-07	1.73	6.88	Esférico	0	11.44	9.12	0	Alta
(8) Dic-08	1.57	5.74	Esférico	0	10.08	9.6	0	Alta
(9) Ene-09	1.5	5.66	Esférico	0	9.35	10.08	0	Alta
(10) Ene-10	1.46	5.18	Esférico	0	8.29	7.92	0	Alta
(11) Feb-11	1.44	5.08	Esférico	0	8.16	9.36	0	Alta
(12) Feb-12	1.46	5.01	Esférico	0	8.17	9.12	0	Alta

Tabla 2. Continuación

Parcela 6 Muestreo	Media	Varianza	Modelo	Pepita	Meseta	Rango	Pepita/ meseta	Dependencia espacial
(1) Sep-01	6.54	51.01	Esférico	0	57.67	10.87	0	Alta
(2) Sep-02	6.35	47.92	Esférico	0	53.9	8.31	0	Alta
(3) Oct-03	6.17	45.34	Esférico	0	54.4	8.16	0	Alta
(4) Oct-04	6.11	44.95	Esférico	0	53.46	7.68	0	Alta
(5) Nov-05	5.93	39.81	Esférico	0	47.87	8.16	0	Alta
(6) Nov-06	5.56	35.93	Esférico	0	45.9	8.16	0	Alta
(7) Dic-07	5.33	33.63	Esférico	0	44.52	8.16	0	Alta
(8) Dic-08	5.21	31.17	Esférico	0	42	8.16	0	Alta
(9) Ene-09	5.03	29.16	Esférico	0	41.16	8.16	0	Alta
(10) Ene-10	5.12	28.56	Esférico	0	40.18	8.15	0	Alta
(11) Feb-11	4.99	26.65	Esférico	0	39.01	8.16	0	Alta
(12) Feb-12	4.84	25.03	Esférico	0	37.26	8.83	0	Alta

En la Tabla 3, se especifican los resultados obtenidos del porcentaje de superficie infestada; la parcela seis tuvo la mayor superficie infestada 75% en la segunda quincena de noviembre, con respecto al menor porcentaje de infestación se presentó en la parcela cuatro en el muestreo de la segunda quincena del mes de febrero siendo este con 38%. Del área total estudiada el valor medio de superficie infectada fue de 56%. De manera general se encontró que a mayor presencia menor superficie sin infectar. Lo interesante de los resultados obtenidos, es que en ninguno de los casos de muestreo se pudo presentar una infección por Mancha de Hierro que alcanzara un 100%. Lo resultados observados resultan de interés para el manejo integrado para Mancha de Hierro, puesto que permitirá realizar prácticas de control sobre las áreas de infección específicas.

Agricultura de Precisión (AP)

En la Tabla 4 se observan los resultados de la evaluación económica y ambiental, indicando el costo de producto químico por hectárea \$7,800.00, siendo la cantidad de fungicida a utilizar seis litros, ya que los productores lo aplican de manera homogénea en las mismas cantidades, sin hacer la distinción de la ubicación real donde se encuentran los focos de agregación de la enfermedad; por otra parte como se mencionó en el apartado anterior el hongo nunca llegó a cubrir el 100% de las parcelas donde se llevó a cabo el estudio.

Con respecto al control químico del hongo Mancha de Hierro, los productores utilizan el Flutriafol ingrediente activo contenido en el producto comercial Controller F-500 de la marca FMC y cloruro tribásico de cobre. En la Tabla 4 se observa la cantidad de producto químico que se utiliza por hectárea, el cual corresponde a seis litros, considerando que el costo por unidad de producto aplicado corresponde a \$ 1,300 pesos realizando un costo real por hectárea de \$ 7,800 pesos, en términos generales el estudio con técnicas geoestadísticas, permite saber en tiempo real la distribución de la enfermedad, la superficie infestada y la ubicación exacta de los focos de agregación en donde se encuentra presente el hongo Mancha de Hierro, generando un importante de ahorro económico en la aplicación dirigida del fungicida, mitigando el impacto al ambiente, ya que se reduce la aplicación de fungicida de seis litros a realizar una aplicación dirigida a zonas específicas utilizando hasta tres a cuatro litros, por ello resulta importante el uso de este tipo de técnicas para comenzar con una agricultura sustentable más amigable al ambiente.

Tabla 3. Porcentaje de superficie infestada y no infestada por la mancha de hierro en Amatepec

Parcela 1 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	44	56
(2) Sep-02	45	55
(3) Oct-03	48	52
(4) Oct-04	48	52
(5) Nov-05	49	51
(6) Nov-06	50	50
(7) Dic-07	50	50
(8) Dic-08	48	52
(9) Ene-09	46	54
(10) Ene-10	45	55
(11) Feb-11	43	57
(12) Feb-12	42	58

Tabla 3. Continuación

Parcela 2 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	50	50
(2) Sep-02	51	49
(3) Oct-03	52	48
(4) Oct-04	53	47
(5) Nov-05	53	47
(6) Nov-06	53	47
(7) Dic-07	51	49
(8) Dic-08	50	50
(9) Ene-09	49	51
(10) Ene-10	49	51
(11) Feb-11	48	52
(12) Feb-12	46	54

Tabla 3. Continuación

Parcela 3 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	67	33
(2) Sep-02	68	32
(3) Oct-03	69	31
(4) Oct-04	69	31
(5) Nov-05	69	31
(6) Nov-06	70	30
(7) Dic-07	69	31
(8) Dic-08	67	33
(9) Ene-09	67	33
(10) Ene-10	66	34
(11) Feb-11	65	35
(12) Feb-12	65	35

Tabla 3. Continuación

Parcela 4 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	41	59
(2) Sep-02	41	59
(3) Oct-03	43	57
(4) Oct-04	44	56
(5) Nov-05	44	56
(6) Nov-06	45	55
(7) Dic-07	44	56
(8) Dic-08	42	58
(9) Ene-09	41	59
(10) Ene-10	40	60
(11) Feb-11	40	60
(12) Feb-12	38	62

Tabla 3. Continuación

Parcela 5 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	56	44
(2) Sep-02	58	42
(3) Oct-03	59	41
(4) Oct-04	59	41
(5) Nov-05	60	40
(6) Nov-06	60	40
(7) Dic-07	58	42
(8) Dic-08	58	42
(9) Ene-09	56	44
(10) Ene-10	55	45
(11) Feb-11	55	45
(12) Feb-12	53	47

Tabla 3. Continuación

Parcela 6 Muestreo	Superficie infestada %	Superficie no infestada %
(1) Sep-01	71	29
(2) Sep-02	72	28
(3) Oct-03	73	27
(4) Oct-04	73	27
(5) Nov-05	74	26
(6) Nov-06	75	25
(7) Dic-07	74	26
(8) Dic-08	73	27
(9) Ene-09	71	29
(10) Ene-10	70	30
(11) Feb-11	68	32
(12) Feb-12	67	33

Tabla 4. Evaluación económica y ambiental

Fecha	Costo en (\$/ha)	Ahorro (\$/ha)	Cantidad de fungicida en an (l/ha)	Ahorro de controller f-500 (l/ha)
Parcela 1				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$4,368.00	6	3.18
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$4,290.00	6	3.18
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$4,056.00	6	3.18
Parcela 2				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$3,666.00	6	2.88
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$3,666.00	6	2.94
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$3,666.00	6	3
Parcela 3				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$2,418.00	6	3.18
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$2,418.00	6	3.18
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$2,340.00	6	3.18
Parcela 4				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$4,368.00	6	2.64
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$4,368.00	6	2.64
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$4,290.00	6	2.7
Parcela 5				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$3,198.00	6	2.46
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$3,120.00	6	2.4
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$3,120.00	6	2.4
Parcela 6				
Sep 01-02	\$7,800.00	\$2,106.00	6	1.62
Oct-03, 04	\$7,800.00	\$2,028.00	6	1.56
Nov-05, 06	\$7,800.00	\$1,950.00	6	1.5

Discusión

Dentro del estudio de la estadística espacial resulta más común el uso de la Geoestadística como herramienta para la modelización de fenómenos biológicos dentro de la agricultura (Rossi *et al.*, 1992). El uso de

este tipo de técnicas ha venido a generar un conocimiento más preciso para el manejo de plagas y enfermedades en diferentes tipos de cultivos. Ramírez y Camargo (2008) indican en su estudio de distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España, que la mayor infestación de insectos plaga se localizó en áreas centrales.

En los mapas de densidad que se obtuvieron mediante la técnica del Krigeado se observan los centros de agregación de los de dentro de la parcela lo cual a la hora de proteger el cultivo contra la plaga permite dirigir de forma precisa las medidas de control (Blom y Fleischer, 2001; Esquivel Higuera y Jasso García, 2014; Moral García, 2004; Rivera-Martínez *et al.*, 2018; Weisz *et al.*, 1996) por lo tanto, el objetivo del trabajo fue determinar la distribución espacial de las poblaciones de huevos de *B. cockerelli* en cuatro parcelas de tomate de cáscara, por medio de la geoestadística, en Luvianos, Estado de México en el año 2016-2017. Se determinó el semivariograma experimental para ajustarse a un modelo teórico (esférico, exponencial o gaussiano. Las aplicaciones directas conllevan varios beneficios tanto económicos como ambientales, al tener de manera específica donde se encuentra ubicada la enfermedad se generan datos estadísticos para la planeación de un manejo agronómico con enfoque de agricultura sustentable y altamente sostenible, con esta dirección se debe usar todas aquellas técnicas geoestadísticas con el fin de ir reduciendo el impacto ambiental por el uso indiscriminado de agroquímicos, por lo mismo que las plagas y enfermedades van generando resistencia a todo aquel producto que nosotros aplicamos en los campos de cultivo, por ello es importante introducir la agricultura sustentable en las zonas agrícolas, para obtener productos incluso con mayor valor económico en el mercado.

En el caso de Ramírez *et al.*, 2013 (Ramírez Davila, J. Francisco; Solares Alonso, Victor Manuel; Figueroa Figueroa, Dulce Karen; Sanchez Pale, 2013) quienes realizaron estudios sobre modelización y mapeo de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Trioziidae) en la papa, en el Estado de México, se utilizaron ambas estadísticas, la clásica y la espacial (Geoestadística). Los resultados obtenidos enfatizaron que la estadística clásica es inconsistente para determinar la ubicación física del insecto y la estadística espacial es la más adecuada, pues se pueden generar mapas de densidad para visualizar la distribución espacial de las poblaciones. Así, en el presente trabajo el uso de técnicas geoestadísticas permitió determinar la distribución espacial de *Mycosphaerella Coffeicola* bajo una estructura agregada en las 6 parcelas.

Los semivariogramas teóricos obtenidos fueron de dos tipos: esférico y gaussiano. Dichos modelos ajustados tienen un 98% de fiabilidad, por lo que se puede deducir que más del 90% de la variación total es debida a la dependencia espacial encontrada en la escala de muestreo utilizada. Esto es, más del 90% de la variación de la distribución de las poblaciones de *Mycosphaerella Coffeicola* se logró explicar por la estructura espacial establecida con los semivariogramas. Además, las funciones estadísticas permitieron validar los modelos del tipo esférico y gaussiano de ambas parcelas en las diferentes fechas de muestreo (Acosta-Guadarrama *et al.*, 2017; Maldonado-Zamora *et al.*, 2017).

El modelo gaussiano es indicativo de que el comportamiento de agregación de *Mycosphaerella Coffeicola* se da de forma continua dentro de las parcelas, ya que la infección de esta planta, con respecto a su avance, se da entre los arbustos cercanos. Resultados similares fueron obtenidos por Sánchez *et al.* (2015) en un estudio sobre el patrón espacial del carbón de la espiga de maíz. Ambos concluyen que los semivariogramas ajustados a los modelos gaussianos indican que los focos de infestación, tanto de la enfermedad como del insecto, presentan una expansión continua dentro de la parcela respecto a los puntos muestreados. Esto permite inferir que la existencia de diversos factores ambientales favorece su desarrollo hacia arbustos cercanos.

El modelo esférico indica que las poblaciones de *Mycosphaerella Coffeicola* se presentan en mayor cantidad en ciertas zonas de la parcela respecto al resto de puntos considerados en el muestreo y que los centros de agregación son aleatorios. Posiblemente esto se deba al tipo de diseminación, a la exposición del sol o a los vientos predominantes. Estudios realizados por Nafarrate *et al.* (2018) sobre la modelización y mapeo estacional del índice de área foliar en un bosque tropical seco y Ramírez y Figueroa (2013) sobre la modelización y mapeo de la distribución espacial de *Bactericera cockerelli* Sulc (Hemiptera: Triozidae) en papa en el Estado de México, determinaron centros de agregación en zonas específicas dentro de las parcelas de estudio.

En las parcelas se presentó un nivel de dependencia espacial alta y un nivel de agregación alto que permiten suponer la existencia de condiciones ambientales favorables al desarrollo y diseminación de la Mancha de Hierro. Los resultados concuerdan con lo obtenido por Ramírez y Porcayo (2010) en su estudio comparativo de la distribución espacial del muérdago enano (*Arceuthobium* sp.) en la ladera Norte del Parque Nacional Nevado de Toluca, México. También con lo obtenido por Arce *et al.* (2016), quienes determinaron un nivel alto de agregación sobre

factores bióticos asociados a la distribución espacial de *Psittacanthus calyculatus* (DC.) G. Don en un bosque tropical caducifolio del centro de México.

Por lo anterior se tendría que determinar que tanto favorecen los factores ambientales al desarrollo y la expansión de *Mycosphaerella Coffeicola* hacia zonas en las que se han detectado presencia de mancha de hierro, ya que quizás actuando sobre ellos se pueda reducir su presencia en estas zonas. Así, será posible incorporar métodos de control para disminuir el uso de agroquímicos que en algunos casos resultan ser muy costosos y dañinos.

Además de indicar las zonas en las que se encuentra distribuida la enfermedad, los mapas de infestación también determinan el porcentaje de superficie infestada en cada parcela de estudio. Por ello, se pudo comprobar que la infestación en las parcelas no se distribuye en el 100%, habiendo zonas de poca infestación, lo cual permite dirigir de manera eficaz acciones de control. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Ramírez *et al.* (2011) en el estudio sobre Estabilidad Espacio Temporal de la Distribución del Carbón de la Espiga del Maíz y por Arce *et al.* (2016) en su estudio sobre factores bióticos asociados a la distribución espacial de muérdago *Psittacanthus calyculatus* (DC.) G. Don en un bosque tropical caducifolio de México, pues en ninguno de los casos la infestación alcanzó el 100% del área de estudio, con lo cual se pueden dirigir de forma precisa, eficaz y eficiente las diferentes medidas de control sobre las zonas específicas, generando beneficios económicos y ambientales al aplicar los fungicidas o los controles culturales en estas zonas.

Conclusiones

Es posible establecer el tipo de distribución y los mapas de densidad del hongo Mancha de Hierro a través del uso de la geoestadística. La aplicación de la agricultura de precisión en el manejo de presencia de Mancha de Hierro resulta factible.

Los resultados obtenidos mostraron la existencia de una disposición espacial agregada. Es posible dirigir las medidas de control a zonas determinadas donde es alta la presencia del hongo.

La aplicación de fungicidas acompañado de una agricultura de precisión derrama un ahorro económico de cantidades importantes de aplicaciones químicas. El manejo adecuado de productos químicos reduciría el impacto de productos químicos residuales en el ambiente.

Los datos obtenidos a partir de los datos de dispersión indicaron en general una presencia en Mancha de Hierro de forma agregada. Sin embargo, el índice de dispersión y el índice de Green mostraron resultados similares en cuanto a la localización de tipo agregada, en general se encontró en los datos obtenidos del índice de Green presentaron agregaciones leves.

Fuente consultadas

- Arce, A. I., Suzán-Azpiri, H., García-Rubio, O., Arce-Acosta, I., Suzán-Azpiri, H., y García-Rubio, O. (2016). Biotic factors associated with the spatial distribution of the mistletoe *Psittacanthus calyculatus* in a tropical deciduous forest of central Mexico. *Botanical Sciences*, 94(1), 89–96. <https://doi.org/10.17129/BOTSCI.263>
- Blom, P. E., y Fleischer, S. J. (2001). Dinámica en la estructura espacial de *Lepitotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Entomología Ambiental*, 30(0), 350–364.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., y Konopka, A. E. (1994). Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(5), 1501–1511. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- David Acosta-Guadarrama, A., Francisco Ramírez-Dávila, J., Rivera-Martínez, R., Figueroa-Figueroa, D. K., Lara-Díaz, A. V., Y Maldonado-Zamora, I. (2017). Distribución Espacial de Trips spp. (Thysanoptera) y Evaluación de su Control Mediante el Depredador *Amblyseius swirskii* en el Cultivo de Aguacate en México. *Bio One COMPLETE*, 42, 435–446. <https://doi.org/10.3958/059.042.0214>
- Englund, E. J., y Sparks, A. R. (1988). *GEO-EAS (Geostatistical environmental assessment software) user's guide*.
- Escamilla P, E., Ruiz R, O., Díaz P, G., Landeros S, C., Platas R, D. E., Zamarripa C, A., Y González H, V. A. (2005). El agroecosistema café orgánico en México. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6135>
- Esquivel Higuera, V., y Jasso García, Y. (2014). Núm. 6 14 de agosto-27 de septiembre. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 5(6), 923–935. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000600002&lng=eeynrm=isoytlnng=es
- Gallardo, A. (2006). *Geostatística. Ecosistemas*, 15(3). <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/161>

- Rengifo-Guzmán, H., Eduardo Leguizamón-Caycedo, J., y Miguel Riaño-Herrera, N. (2002). Algunos aspectos biológicos de *Cercospora coffeicola*. 53(3), 169–177. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1023>
- Hevesi, J. A., Istok, J. D., y Flint, A. L. (1992). Estimación de precipitación en terreno montañoso mediante geoestadística multivariante. Parte I: Análisis Estructural. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 31, 661–676.
- Higuera, V. E., y García, Y. J. (2014). Núm. 6 14 de agosto-27 de septiembre. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 923–935.
- Isaaks, E. H., y Srivastava, M. R. (1989). *Applied geostatistics*. New York : Oxford University Press, 0(0), 561.
- Jiménez C., R. D. L. Á., Ramírez D., J. F., Sánchez P., J. R., Salgado S., M. L., y Laguna C., A. (2013). Modelización espacial de *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) en tomate de cáscara por medio de técnicas geoestadísticas. *Revista Colombiana de Entomología*, 39(2), 183–192. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882013000200001&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Journel, A. G., Huijbregts, C. (1978). *Ch. J. Geoestadística minera*. | CiNii Investigación todos Buscar. <https://cir.nii.ac.jp/all?q=Ch. J. Mining geostatistics>.
- López-Guzmán Guzmán, T. J., Ma, S., y Cañizares, S. (2008). No 2 págs. 6, 159–171. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2008.06.013>
- Maldonado Zamora, F. I., Ramírez Dávila, J. F., Rubí Arriaga, M., Antonio Némiga, X., Y Lara Díaz, A. V. (2017). Distribución espacial de trips en aguacate en Coatepec Harinas, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4), 845. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i4.259>
- Moral García, F. J. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Ecosistemas*, 13(0), 78–86.
- Nafarrate-Hecht, A. C., Dupuy-Rada, J. M., George-Chacon, S. P., Hernández-Stefanoni, J. L., Nafarrate-Hecht, A. C., Dupuy-Rada, J. M., George-Chacon, S. P., Y Hernández-Stefanoni, J. L. (2018). Modelización y mapeo estacional del índice de área foliar en un bosque tropical seco usando imágenes de satélite de alta resolución. *Madera y bosques*, 24(3). <https://doi.org/10.21829/MYB.2018.2431666>
- Ramirez Davila, J. Francisco; Porcayo Camargo, E. (2008). Distribución espacial de las ninfas de *Jacobiasca lybica* (Hemiptera: Cicadellidae) en un viñedo en Andalucía, España. *Revista Colombiana de Ento-*

- mología. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882008000200006
- Ramirez Davila, J. Francisco; Solares Alonso, Victor Manuel; Figueroa Figueroa, Dulce Karen; Sanchez Pale, J. R. (2013). Comportamiento espacial de trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta zoológica mexicana*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0065-17372013000300007&script=sci_arttext
- Rámirez Dávila, J. F., Sánchez Pale, J. R., y De León, C. (2011). Stability of the Temporal Spatial Distribution of Corn Head Smut (*Sporisorium reilianum*) in the State of Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 29, 1–14.
- Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., Acosta-Guadarrama, A. D., Rivera-Martínez, R., Ramírez-Dávila, J. F., Y Acosta-Guadarrama, A. D. (2018). Distribución espacial de las poblaciones de huevos de *Bactericera cockerelli* Sulc. en el cultivo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta universitaria*, 28(5), 24–33. <https://doi.org/10.15174/AU.2018.1944>
- Rossi, R. E., Mulla, D. J., Journel, A. G., y Franz, E. H. (1992). Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 62(2), 277–314. <https://doi.org/10.2307/2937096>
- Samper, F. J., y Carrera, J. (1996). *Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea. 2 a (Ed.)*. Centro Internacional de Métodos en Ingeniería. Isaaks, EHRM Barcelona, España.
- Sánchez-Pale, J. R., Ramírez-Dávila, J. F., González-Huerta, A., y de León, C. (2015). Patrón espacial del carbón de la espiga del maíz en diferentes localidades del Estado de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(7), 1467–1480. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000700004&lng=es&synrm=iso&tlng=es
- SENASICA (2016). Programa de trabajo de Vigilancia Epidemiológica de Roya del café.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. 2016. Manca de Hierro *Mycosphaerella coffeicola* (Cooke) J. A Stevens y Wellman. Ficha Técnica No. 40. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Sokal, R. y F. Rohlf. 1995. *Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research*. 3 ed., Freeman, New York. 356 pp.
- Tapia Rodríguez, A., Ramírez Dávila, J. F., Salgado Siclán, M. L., Castañeda Vildózola, Á., Maldonado Zamora, F. I., Y Lara Díaz, A. V. (2020). Spatial

distribution of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) in avocado in the State of Mexico, Mexico | Distribución espacial de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) en aguacate en el Estado de México, México. *Revista Argentina de Microbiología*, 52(1), 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.07.004>

Weisz, R., Fleischer, S., y Smilowitz, Z. (1996). Site-Specific Integrated Pest Management for High-Value Crops: Impact on Potato Pest Management. *J. Econ. Entomol.*, 89(2), 501–509. <https://academic.oup.com/jee/article/89/2/501/2216461>.



Existe la imperante necesidad de contribuir a comprender y actuar sobre los principales retos de la producción de café en el Estado de México, así como de las actividades económicas y procesos socioterritoriales que de ella se desprenden, por ello, emerge esta iniciativa académica de generar la presente obra editorial titulada “Café mexiquense. Producción, mercado y política pública”, la cual tiene por objetivo fungir como un articulador de conocimientos alrededor de la producción de café en el Estado de México desde diversas dimensiones como son la cadena productiva, el territorio, la gestión agronómica, la sustentabilidad, el beneficio, el mercado y las políticas públicas. Con ello este libro contiene elementos de pertinencia científica y de retribución social que contribuyen favorablemente al fortalecimiento de la cafecultura mexiquense.



Universidad Autónoma
del Estado de México

