



Programa Regional de
Investigación e Innovación por
Cadenas de Valor Agrícola



SISTEMATIZACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA EVALUAR EFECTOS AMBIENTALES DE TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS CON ENFOQUE EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE AGRICULTURA FAMILIAR

www.priica.sictanet.org





Programa Regional de
Investigación e Innovación por
Cadenas de Valor Agrícola



SISTEMATIZACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA EVALUAR EFECTOS AMBIENTALES DE TECNOLOGÍAS AGRÍCOLAS CON ENFOQUE EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE AGRICULTURA FAMILIAR

Enero, 2017

www.priica.sictanet.org



Este documento ha sido producido dentro del "Programa regional de Investigación e Innovación por cadenas de Valor Agrícola (PRIICA), mediante la consultoría CRC-025 de la Representación del IICA en Costa Rica. El PRIICA es ejecutado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), en colaboración con los institutos nacionales de investigación agrícola (INIA), con recursos de la Unión Europea, el cual pretende reforzar la seguridad alimentaria y nutricional de los productores, por medio de la conformación de alianzas entre el sector público y privado, la gestión del conocimiento y la investigación e innovación en yuca, papa, tomate y aguacate en Centroamérica y Panamá.

Las opiniones expresadas en el mismo no reflejan necesariamente la opinión oficial de la Unión Europea ni del IICA.

www.priica.sictanet.org

Elaborado por:

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

Revisado y editado por:

Allan Meneses, Innovación Tecnológica del PRIICA
Esteban López, Seguimiento y Evaluación del PRIICA
Miguel Altamirano, Coordinador Regional del PRIICA
Unidad Coordinadora del Programa (UCP)

Diseño y diagramación por:

Handerson Bolívar | www.altdigital.com

CONTENIDO

Introducción.....	5
1. Impactos de las actividades agropecuarias sobre la conservación de la biodiversidad, el suelo, el agua, el aire y la salud pública.....	6
1.1 Efecto de los plaguicidas sobre la conservación de la biodiversidad.....	6
1.2. Efecto de los plaguicidas sobre la calidad del agua.....	7
1.3. Los fertilizantes nitrogenados y sus efectos asociados a la contaminación del agua y la salud pública.....	7
1.4. Efecto de los plaguicidas sobre la salud humana.....	8
2. Desarrollo agropecuario y su relación con la deforestación y la erosión de los suelos.....	9
3. Agricultura y emisiones de gases de efecto de invernadero.....	10
4. Problemas ambientales asociados a tecnologías agropecuarias relacionadas a los cultivos de tomate, papa, yuca y aguacate en Centroamérica.....	11
5. Importancia de evaluar los efectos ambientales de las tecnologías agropecuarias.....	12
6. Metodologías utilizadas para medir el desempeño de tecnologías agropecuarias sobre el ambiente.....	13
6.1 Sistema de Evaluación de Impactos Ambientales de Innovaciones Tecnológicas Agropecuarias (Ambitec-Agro).....	13
6.2 Evaluación de impactos en programas de manejo integrado de plagas (MIP).....	23
6.3 Metodología para medir el coeficiente de impacto ambiental (EIQ) y el impacto ambiental (EI).....	25
6.4 Huella de carbono.....	28
6.5. Metodologías mixtas para la medición del impacto ambiental de tecnologías agropecuarias.....	35
Consideraciones finales.....	37
Bibliografía.....	38

INTRODUCCIÓN

Actualmente es importante que los sistemas de producción agropecuarios sean sostenibles, lo cual implica que las tecnologías que se utilicen deben generar beneficios sociales y económicos para las familias y presentar bajo impacto ambiental. Es por eso que existe un marcado interés en evaluar los efectos ambientales asociados al uso de diferentes tecnologías requeridas para la producción de cultivos, pues en el pasado no se internalizaba en las funciones de producción los costos ambientales asociados.

Las tecnologías agrícolas relacionadas con el uso de excesivo de agroquímicos para el control de plagas, enfermedades y fertilizantes; la siembra de cultivos en sitios de altas pendientes o en suelos propensos a ser erosionados especialmente aquellos sembrados sin prácticas de conservación, pueden afectar la biodiversidad existente en un lugar, la calidad del agua, contribuir al calentamiento global del planeta, afectar el adecuado funcionamiento de los ecosistemas, y perjudicar la salud pública. En ese sentido es necesario documentar las metodologías más utilizadas para la evaluación de los impactos ambientales asociados a las tecnologías agrícolas, pudiendo estas evaluar de manera holística varios aspectos ambientales o de manera puntual un solo aspecto. En este documento se pone especial atención a metodologías que permiten evaluar el impacto ambiental de tecnologías utilizadas en los cultivos de tomate, papa, yuca y aguacate.

1. IMPACTOS DE LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS SOBRE LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD, EL SUELO, EL AGUA, EL AIRE Y LA SALUD PÚBLICA

1.1 Efecto de los plaguicidas sobre la conservación de la biodiversidad

En lugares donde se practica el monocultivo intensivo, los plaguicidas constituyen el método habitual de lucha contra las plagas. Por desgracia, los beneficios aportados por la química han ido acompañados de una serie de perjuicios, algunos de ellos tan graves que ahora representan una amenaza para la supervivencia a largo plazo de importantes ecosistemas, como consecuencia de la perturbación de las relaciones depredador-presa y la pérdida de biodiversidad. Los efectos ecológicos de los plaguicidas (y otros contaminantes orgánicos) son muy variados y están con frecuencia interrelacionados. Se considera que los efectos producidos en los organismos y en el medio ambiente constituyen una advertencia de las posibles repercusiones en la salud humana. Los principales tipos de efectos se enumeran a continuación y varían según el organismo sometido a investigación y el tipo de plaguicida. Los distintos plaguicidas provocan efectos muy diferentes en la vida acuática, por lo que es difícil formular afirmaciones de alcance general. Lo importante es que muchos de estos efectos son crónicos (no letales), pasan con frecuencia desapercibidos al observador superficial, y sin embargo, tienen consecuencia en toda la cadena trófica. Esos efectos son los siguientes: i) Muerte de organismos, ii) Cánceres, tumores y lesiones en peces y animales, iii) Inhibición o fracaso reproductivo iv) Supresión del sistema inmunológico, v) Perturbación del sistema endocrino (hormonal), vi) Daños celulares y en el ADN, vii) Efectos teratogénicos (deformidades físicas, como las que se observan en el pico de algunas aves), viii) Problemas de salud en los peces revelados por el bajo coeficiente entre células rojas y blancas, y por el exceso de mucílago en las escamas y agallas, ix) Efectos intergeneracionales (que sólo se observarán en las generaciones futuras del organismo), x) efectos fisiológicos, como disminución del grosor de la cáscara de los huevos (FAO, s.f.).

1.2. Efecto de los plaguicidas sobre la calidad del agua

Los efectos de los plaguicidas en la calidad del agua están asociados a los siguientes factores, i) Ingrediente activo en la formulación de los plaguicidas, ii) Contaminantes que existen como impurezas en el ingrediente activo, iii) Aditivos que se mezclan con el ingrediente activo (humectantes, diluyentes o solventes, aprestos, adhesivos, soluciones reguladoras, conservantes y emulsionantes), iv) Producto degradado que se forma durante la degradación química, microbiana o fotoquímica del ingrediente activo.

La degradación de la calidad del agua por la escorrentía de plaguicidas tiene dos efectos principales en la salud humana. El primero es el consumo de pescado y mariscos contaminados por plaguicidas; este problema puede revestir especial importancia en las economías pesqueras de subsistencia que se encuentran aguas abajo de importantes zonas agrícolas. El segundo es el consumo directo de agua contaminada con plaguicidas (FAO s.f.).

El uso indiscriminado de plaguicidas en la zona aguacatera de Michoacán permite que se apliquen 450,000 litros de insecticidas, 900,000 y 30,000 toneladas de fungicidas y de fertilizantes por año, respectivamente (Vidales 2007), lo que ha ocasionado entre otras cosas, la contaminación del agua. En ese sentido, se han registrado hasta 1,000 ppm de nitratos y 150 ppm de potasio en lixiviados fuera del alcance radical en huertas de aguacate, favoreciendo la presencia de enfermedades en la piel, hígado y sistema nervioso (Alatorre, 2002; Hernández, 1999). Algunos plaguicidas, como el Paraquat que es altamente tóxico, provocan lesiones pulmonares irreversibles, además eliminan microorganismos del suelo que favorecen el crecimiento de las plantas; el Malation, insecticida organofosforado e hidrosoluble y tóxico para el hombre y los animales, puede persistir por muchos años contaminando las aguas (Ruiz 1999).

1.3. Los fertilizantes nitrogenados y sus efectos asociados a la contaminación del agua y la salud pública

De todo el nitrógeno suministrado a determinado cultivo, sólo el 30% es asimilado por las plantas, mientras el resto se pierde por volatilización, desnitrificación o lixiviación (Bowen y Baethgen 1998; Cárdenas y Panizo 2005). El uso intensivo de fertilizantes nitrogenados en los sistemas de producción conlleva a que una importante parte de N_2O y NH_3 se volatilice y llegue a la atmósfera y otra parte del nitrógeno aplicado se lixivie y llegue a los cuerpos de agua en forma de nitratos (Garzón y Cárdenas 2013).

Los fertilizantes químicos, contaminan los mantos freáticos. Los nitratos representan un riesgo para la salud humana, aunque lo más peligroso son los productos resultantes de la

conversión de los nitratos. Los microorganismos presentes en la boca de los humanos e intestinos convierten a los nitratos en nitritos por medio de una reacción de varios compuestos naturales. Los nitritos reaccionan con la hemoglobina de la sangre humana, reduciendo la capacidad del organismo para transportar oxígeno, a esto se le denomina metahemoglobinemia o falta de oxígeno en la sangre (Ruiz 1998).

1.4. Efecto de los plaguicidas sobre la salud humana

Los plaguicidas tienen importantes consecuencias en la salud humana. El PNUMA (1993) vinculó los efectos de los plaguicidas al "nivel de morbilidad oncológica (cáncer), pulmonar y hematológica, así como a las deformidades congénitas y deficiencias del sistema inmunitario. Los efectos en la salud humana son provocados por los siguientes medios: i) Contacto a través de la piel, ii) inhalación mediante respiración de polvo, iii) ingestión de plaguicidas consumidos como contaminantes en los alimentos o en el agua. Los trabajadores agrícolas están sometidos a especiales riesgos asociados a la inhalación y contacto a través de la piel durante la preparación y aplicación de plaguicidas a los cultivos. No obstante, para la mayoría de la población, un vehículo importante es la ingestión de alimentos contaminados por plaguicidas. La práctica frecuente de aplicar pesticidas a lo largo de los ciclos del cultivo y debido a que algunos de ellos no se degradan al cabo de un año, se acumulan en el suelo. La precipitación y el riego son dos de los conductos de transportación de los pesticidas residuales hacia las aguas residuales, de tal manera que el hombre puede contaminarse, consumiendo agua o productos regados con aguas contaminadas por esos pesticidas (Ruiz 1998). En un estudio realizado en México se determinó que, de 4.500 agroquímicos analizados, el 51% produce o podría producir cáncer (Quintero 1998).

2. DESARROLLO AGROPECUARIO Y SU RELACIÓN CON LA DEFORESTACIÓN Y LA EROSIÓN DE LOS SUELOS

En el estado de Michoacán, en México se estima que anualmente se deforestan entre 600 a 1000 ha de bosque para dar paso al cultivo de aguacate (Nájar 2016). Un estudio realizado por Garibay y Bocco (2005) del Centro de Investigaciones de Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, indica que tan solo durante el periodo 2000 al 2005, la superficie de bosques convertida a plantaciones de aguacate fue de 8,706.9 ha. Se estimó que 51.47% de los suelos de Michoacán presentan fuertes problemas de erosión, con niveles clasificados como de altos a severos; 19.10% moderados y 29.43% con ligeros a nulos (COFOM, 2001). La erosión ligera se refiere a la de tipo laminar principalmente, mientras que la clase moderada considera la presencia de erosión laminar avanzada (pináculos). Por último, la clase de erosión alta a severa corresponde al tipo que se presenta en forma de canalillo profundo, zanjas y hasta cárcavas. La erosión hídrica afecta el 74.1% de la superficie del estado.

3. AGRICULTURA Y EMISIONES DE GASES DE EFECTO DE INVERNADERO

Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura consisten en gases distintos del CO₂, específicamente metano, CH₄, y el óxido nitroso, N₂O, producidas a partir de las actividades biológicas relacionadas con la descomposición bacteriana, procesos en los suelos de las tierras de cultivo y pastizales y en de los sistemas digestivos del ganado. Las emisiones incluyen procesos ligados a fermentación entérica, al manejo de estiércol, al cultivo de arroz, al uso de fertilizantes sintéticos, del estiércol depositado en los pastos o aplicado a los suelos, de la descomposición de residuos de cultivos, o de la quema de sabanas y quema en el campo de residuos de cultivos.

Las emisiones agrícolas procedentes de la producción agropecuaria crecieron desde 4 700 millones de toneladas de equivalentes de dióxido de carbono (CO₂ eq) en 2001, a más de 5 300 millones de toneladas en 2011, un aumento del 14 por ciento. Del total de emisiones en el año 2011 el 26 % fueron aportadas por el continente americano. El incremento se produjo principalmente en los países en desarrollo, debido a la expansión del total de la producción agrícola. Las emisiones generadas durante la aplicación de fertilizantes sintéticos representaron el 13 por ciento de las emisiones de la agricultura (725 millones de toneladas de CO₂ eq) en 2011, y son la fuente de emisiones de más rápido crecimiento en la agricultura, con un alza del 37 por ciento desde 2001 (Tubiello *et al.*, 2014).

4. PROBLEMAS AMBIENTALES ASOCIADOS A TECNOLOGÍAS AGROPECUARIAS RELACIONADAS A LOS CULTIVOS DE TOMATE, PAPA, YUCA Y AGUACATE EN CENTROAMÉRICA

El PRIICA trabaja en la región de América Central en el mejoramiento de la productividad y sostenibilidad de los productos cadena (tomate, papa, yuca y aguacate).

Los principales impactos ambientales generados por el cultivo del aguacate son la disminución de las superficies boscosas con sus efectos negativos en el sistema hidrológico; la demanda creciente de grandes volúmenes de madera para el empaque y transporte del fruto y el elevado uso de agroquímicos y fertilizantes.

Canal 19 (2014) reporta que de acuerdo a las recomendaciones de la Universidad de Idaho se requieren para producir de manera eficiente una manzana de papa durante un ciclo de producción 17 quintales de fertilizantes, y 255 litros de agroquímicos líquidos. Por esta razón en Estelí, Nicaragua las comunidades están en una crisis ambiental pues los mantos acuíferos se han contaminado por el uso indiscriminado de agroquímicos.

Ramírez *et al.*, (2014) mencionan que en Pacayas, Costa Rica, cada productor en promedio utilizó 42,6 kg i.a./ha/ciclo para plaguicidas y de 41 quintales de fertilizantes/ciclo. El grupo de mayor uso lo constituyeron los fungicidas-bactericidas con 30 i.a. y 85,7% del total de plaguicidas, le siguen los insecticidas (25 i.a. y 11,0%) y los herbicidas (4 i.a. y 3,3%). Se utilizaron agroquímicos no registrados para papa y con reconocida toxicidad aguda y crónica. Los productores con mayor área cultivada adicionaron mayor cantidad de plaguicida, mientras que en áreas menores el consumo fue menor pero se utilizó un mayor número de productos. Se utilizó más cantidad de plaguicidas y fertilizantes durante la época lluviosa, más del doble del promedio ponderado de plaguicida por hectárea en donde la mayoría de estos productos fueron a parar a fuentes de agua. Asimismo, se observó que la papa recibe un tratamiento de lavado post-cosecha, tanto para el mercado local e internacional, y se desecha una gran cantidad de agua con sedimento en los sistemas de alcantarillado o quebradas. Estos resultados indican la necesidad de realizar un monitoreo sistemático en los cuerpos de agua de la región papera y a la vez que se impulsan medidas para reducir el uso de plaguicidas y las emisiones ambientales especialmente de N₂O provenientes de los fertilizantes. Por otra parte al realizar un análisis de los principales efectos ambientales provocados por el cultivo del tomate se sabe que para el control de plagas y enfermedades se utiliza gran cantidad de agroquímicos.

5. IMPORTANCIA DE EVALUAR LOS EFECTOS AMBIENTALES DE LAS TECNOLOGÍAS AGROPECUARIAS

Existen metodologías para evaluar diferentes impactos que provocan la adopción de tecnologías agropecuarias sobre el ambiente. Entre ellas podemos citar metodologías para cuantificar las emisiones y remociones de gases con efecto de invernadero tales como la huella y el balance de carbono, también existen metodologías que permiten cuantificar el impacto de sustancias químicas (herbicidas, insecticidas, nematicidas) sobre el ambiente, tales como las propuestas por el (Ortíz y Pradel 2009; Kovach *et al.*, 1992). Por otra parte, otras metodologías permiten determinar el efecto de las tecnologías agropecuarias sobre el agua, el suelo y la biodiversidad (Rodríguez *et al.*, 2010).

Generalmente para evaluar el efecto de una tecnología agropecuaria sobre el ambiente se recurre a indicadores los cuales son capaces de mostrar el efecto positivo o negativo que conlleva la adopción de una determinada tecnología. A su vez cuando el desempeño de un indicador es negativo, se debe poner atención para determinar que está causando esa respuesta y con base en ello se plantean medidas correctivas para superar la situación adversa. Es importante resaltar que algunas metodologías requieren del levantamiento de gran cantidad de información, sin embargo algunas requieren de poco esfuerzo de parte de extensionistas y productores para su aplicación. Una vez analizada la información requerida se puede dar respuesta a preguntas como ¿Es posible producir la misma cantidad de alimentos reduciendo el impacto de los fungicidas sobre el ambiente?, ¿Podría el productor seleccionar los productos que presentarían el menor impacto al ambiente?, ¿Existen tecnologías más costo efectivas que las actuales?, ¿Podríamos determinar algunas acciones que permitirían bajar la huella de carbono de un producto?, ¿Podríamos reducir el impacto de una tecnología o cultivo sobre la biodiversidad, los suelos y el agua? Cabe mencionar que algunas metodologías solo permiten evaluar el desempeño de una tecnología sobre el ambiente, mientras que otras son capaces de evaluar el desempeño ambiental de varias las tecnologías empleadas a lo largo de la cadena de producción de un cultivo tales como la metodología denominada Ambitec Agro o la huella de carbono.

6. METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA MEDIR EL DESEMPEÑO DE TECNOLOGÍAS AGROPECUARIAS SOBRE EL AMBIENTE.

A continuación se presentan cuatro metodologías que están siendo utilizadas para la evaluar el efecto ambiental de las tecnologías agropecuarias en el sector agropecuario.

6.1 Sistema de Evaluación de Impactos Ambientales de Innovaciones Tecnológicas Agropecuarias (Ambitec-Agro)¹

Rodrigues *et al.*, (2003) mencionan que el sistema Ambitec-Agro fue desarrollado para promover la gestión de proyectos en el contexto institucional de investigación y desarrollo, en la 'Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria' (EMBRAPA-MEIO AMBIENTE (Rodrigues *et al.*, 2005). El Sistema Ambitec-Agro evalúa siete aspectos generales (figura 1) los cuales se enmarcan dentro de las dimensiones de desempeño a) ecológico y b) socio-ambiental. Los aspectos generales se dividen en veinticuatro criterios figuras 2 y 3, que se resumen en un total de 125 indicadores, cada uno de ellos con sus coeficientes de alteración y ponderación (Irias *et al.*, 2004).

1 <http://www.cnpma.embrapa.br/forms/ambitec.php3>

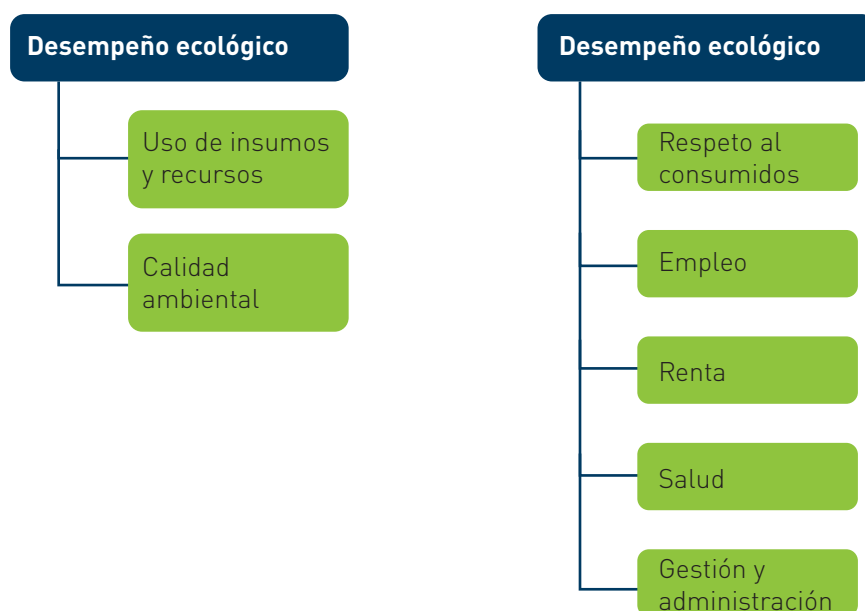


Figura 1. Aspectos generales considerados por las dimensiones de desempeño.

En la dimensión de desempeño ecológico se evalúan dos tipos de impactos: el uso de insumos agrícolas y recursos aplicados a la actividad, y el uso de insumos veterinarios y materias primas. De esta manera, el modelo evalúa el efecto de la actividad sobre la calidad del ambiente, ya sea en la atmósfera, el suelo o el agua, así como el impacto en los hábitats naturales.

En la dimensión de desempeño socio-ambiental se evalúan los aspectos que tienen relación con la manera en que la actividad acompaña al desarrollo local sustentable y contribuye a la mejora continua de calidad de vida de los involucrados en las actividades productivas en el predio rural.

Los indicadores fueron elaborados con base a matrices de ponderación construidas para evaluación de datos como 'coeficientes de alteración' de los indicadores, obtenidos en investigaciones de campo por el equipo, en referencia a normas o patrones internacionales (por ejemplo en el caso del agua) y objetivos de desarrollo sustentable.

El modelo se aplica mediante el levantamiento de información en campo junto a los productores que adoptan las innovaciones tecnológicas, y los resultados de las evaluaciones permiten al productor o gerente, conocer las prácticas que está utilizando que impactan el desempeño de su actividad, de manera que puede tomar medidas correctivas para mejorar dicho desempeño. Asimismo, la metodología puede aplicarse en una finca particular o en varias dentro de una región, cuenca, micro cuenca y establecer cuales fincas están aplicando planes prediales alineados con el desarrollo sustentable. El sistema lleva implícito el concepto de desarrollo sustentable de las actividades productivas, y se aplica al evaluar las contribuciones de las innovaciones tecnológicas al nivel de la plataforma de evaluación de impactos, que es la base

de información primaria para la formulación del Balance Social Institucional de EMBRAPA (Rodrigues *et al.*, 2010).

Uso de insumos y recursos	<ul style="list-style-type: none"> ● Uso de insumos agrícolas y recursos ● Usos de insumos veterinarios y materias primas
Calidad ambiental	<ul style="list-style-type: none"> ● Uso de energía ● Atmósfera ● Suelo ● Agua ● Biodiversidad ● Recuperación ambiental

Figura 2. Criterios de la dimensión ecológica.

Respeto al consumidor	<ul style="list-style-type: none"> ● Calidad del producto ● Ética productiva
Empleo	<ul style="list-style-type: none"> ● Capacitación ● Oportunidad de empleo local calificado ● Oferta de empleo ● Calidad de empleo
Renta	<ul style="list-style-type: none"> ● Generación de ingresos ● Diversidad de las fuentes de renta ● Valor de propiedad
Salud	<ul style="list-style-type: none"> ● Salud ambiental y personal ● Seguridad y salud ocupacional ● Seguridad alimentaria
Gestión y administración	<ul style="list-style-type: none"> ● Dedicación perfil del responsable ● Condición de comercialización ● Reciclaje de residuos ● Relacionamiento personal

Figura 3. Criterios de la dimensión socio-ambiental.

Los 125 indicadores se valoran conforme a un «coeficiente de alteración que es básicamente la percepción que el productor o administrador tiene acerca de la actividad, en el contexto específico de su situación productiva, y bajo la influencia de la tecnología o plan de negocio en evaluación. Estas percepciones son evaluadas y obtenidas mediante un cuestionario, que permite valorar en relación al tiempo transcurrido en la actividad y al espacio por ella ocupado, cuánto se alteró respecto a las variables e indicadores bajo evaluación. Los datos para llenar la planilla se recogen en una entrevista con el productor y su técnico, a fin de obtener la información del sistema productivo.

Los coeficientes de alteración cuantifican el grado de impacto de la actividad, va de -3 a +3, no hay impacto si el valor es 0, existe impacto negativo el valor es menor de 0; y el impacto es positivo cuando el valor es mayor a 0. Para cada indicador se multiplica el coeficiente de alteración por la escala espacial de ocurrencia y por el peso del indicador en la formación del criterio.

La escala espacial de ocurrencia puede ser:

- 1.** Puntual: cuando el impacto se restringe a la parcela ocupada por actividad en análisis (por ejemplo: la superficie de tomate industria cultivada);
- 2.** Local, cuando el impacto se hace sentir fuera de los límites de la parcela ocupada por la actividad (por ejemplo: cuando se utiliza agua de una fuente de agua superficial en el campo, y además se utiliza ésta para disponer residuos líquidos), pero aún dentro de los límites del establecimiento;
- 3.** Del entorno: el impacto supera los límites del establecimiento (puede ser el caso de una fumigación aérea, o cuando se utilizan las cañadas y cursos de agua como disposición de las piletas, caso de los tambos). Otro factor de ponderación incluido en las matrices es el peso del indicador en la formación del criterio.

El Índice General de Desempeño de la Actividad resulta al final de la matriz, y da idea del impacto observado, relativo a los indicadores específicos, variando en una escala de -15 a +15. El sistema AMBITEC presenta una planilla con los resultados de cada concepto luego de evaluar los componentes y calcular los respectivos coeficientes de alteración. Estos resultados de los coeficientes de impacto para cada concepto son expresados en gráficos para facilitar la interpretación de la actividad bajo evaluación (figura 4). La misma resultó +0,35, lo que implica que el balance de impacto es favorable. En el cuadro 3 puede analizarse cuáles son las variables que más influyen en el indicador general, tanto positiva como negativamente.

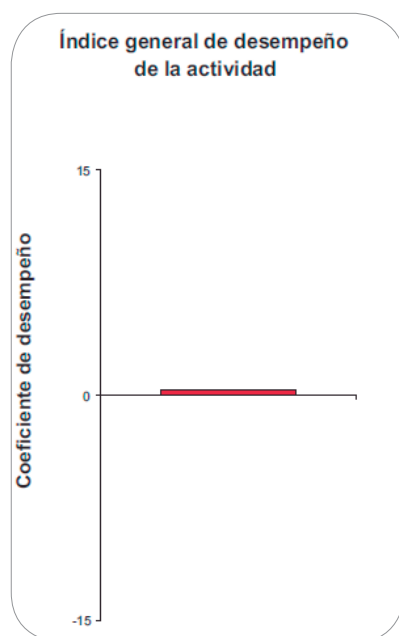


Figura 4. Resumen de Ambitec-Agro aplicado a una actividad productiva.

Ejemplo de la aplicación de la metodología Ambitec-Agro

Se aplicó el Ambitec-Agro en un predio que estaba integrado al Plan de negocios de Tomate Industria en Canelones y San José durante el año 2010, bajo el proyecto URUGUAY RURAL (FIDA), quien facilitó los datos y ubicaciones de los mismos.

El productor seleccionado se inscribió en el Plan Tomate de la DIGEGRA-MGAP. El predio tiene 12 ha totales, en ellas se cultiva camote, cebolla, tomate y zapallo. Se encuentra sobre las costas del arroyo Magariños.

Resultados del desempeño ecológico

El desempeño ecológico se mide a través de dos criterios de impactos: el uso de insumos y el uso de recursos naturales. El modelo considera el efecto que tiene las actividades sobre la calidad del ambiente. El uso de los insumos comprende dos indicadores, para los cuales sólo se consideró la escala de ocurrencia puntual: a) Uso de insumos agrícolas y recursos y energía, b) Calidad ambiental: energía, atmósfera, suelo, agua, biodiversidad y recuperación ambiental.

A) Uso de insumos agrícolas y recursos

En el cuadro 1 se observan los indicadores que componen el criterio uso de insumos agrícolas y recursos. Se le asigna un peso a los factores de ponderación de los indicadores, donde el mayor peso lo tienen los pesticidas y fertilizantes químicos por el impacto sobre el medio ambiente que implica su aplicación.

Cuadro 1. Coeficientes de alteración del uso de insumos y recursos naturales.

Uso de insumos agrícolas y recursos naturales			Uso de insumos			Uso de recursos naturales		Chequeo factores de ponderación	
			Pesticidas	Fertilizantes	Condiciones del suelo	Agua incorporada	Agua para procesos		Suelo/área
Factores de ponderación k			-0.4	-0.15	-0.15	-0.1	-0.1	-0.1	-1
Ocurrencia externa puntual	Sin efecto	Marcar con x							
	Puntual	5	3	3	3	3	0	0	
	Local	-							
	Entorno	-							
Coeficiente de impacto = (Coeficiente de alteración * Factores de ponderación)			-6	-2.25	-2.25	-1.5	0	0	-12

Se coloca el coeficiente de alteración el cual se define como la percepción que el productor o administrador tiene acerca de la actividad, en el contexto específico de su situación productiva, y bajo la influencia de la tecnología o plan de negocio en evaluación.

Estas percepciones son relevadas mediante un cuestionario, que permite valorar en relación al tiempo transcurrido en la actividad y al espacio por ella ocupado, cuánto se alteró respecto a las variables e indicadores bajo evaluación. Los coeficientes de alteración cuantifican el grado de impacto de la actividad, y van de -3 a +3, y sólo contienen los valores 0, 1, 3, -1 y -3, en el caso de 0, no hay impacto, 1 se presenta un aumento moderado del impacto del indicador y 3 se presenta un gran aumento del impacto del indicador, mientras que si se presentan valores de -1 y -3 se presentan disminuciones moderadas o grandes del impacto del indicador y si hubiera los valores van de +1 a +3, dependiendo de la magnitud del mismo.

Por otra parte la escala de ocurrencia puede ser puntual, local o abarcar todo el entorno. Es puntual: cuando el impacto se restringe a la parcela ocupada por actividad agropecuaria bajo análisis local, cuando el impacto se hace sentir fuera de los límites de la parcela ocupada por la actividad (por ejemplo cuando se utiliza agua de una fuente de agua superficial en el campo, y además se utiliza ésta para disponer residuos líquidos), pero aún dentro de los límites del establecimiento, y del entorno cuando el impacto supera los límites del establecimiento (puede ser el caso de una fumigación aérea, o cuando se utilizan cursos de agua como disposición de las bebederos en fincas ganaderas por ejemplo. Si el factor de ocurrencia es puntual asume un valor de 1, si es local asume un valor de 2 y si es de entorno asume un valor de 5.

Otro factor de ponderación incluido en las matrices es el peso del indicador en la formación del criterio. Los factores de ponderación que se utilizan pueden ser los originales definidos por EMBRAPA o podrían alterarse estos factores de importancia de los indicadores, si la percepción de los evaluadores y el resultado del trabajo en campo lo ameritaran. La suma de todos los factores debe ser 1 ó -1.

Una vez asignados los valores de los coeficientes de alteración, de escala de ocurrencia y los de los factores de ponderación del indicador se multiplican entre sí y se obtiene el coeficiente de impacto de cada indicador, luego se suman los coeficientes de impacto de los indicadores y se obtiene el coeficiente de impacto del criterio. A continuación se presenta un ejemplo basado en la información del cuadro 1. Se multiplica el (coeficiente de alteración) número 3, por el factor de ponderación del indicador dentro del criterio - 0,4 lo que arroja un resultado de para dicho impacto de 1,2. Este valor a su vez se multiplica por 5 debido a la localización u ocurrencia de dicho impacto (puntual). De todo ello resulta un valor para el coeficiente de impacto de -6, lo que indica un impacto negativo de magnitud 6 en el peso de ese indicador. La planilla suma los valores de todos los impactos de los indicadores que componen cada criterio, en este caso el ejemplo da un factor de impacto de -12, realmente importante por el incremento en el uso de agroquímicos, fertilizantes, condicionantes del suelo y agua, para el modelo ese criterio es considerado negativo por su impacto ambiental (cuadro 1).

El resultado evidencia que el cambio introducido por la actividad de la plantación de tomate industria implicó impactos negativos sobre el medio ambiente debido al uso de sustancias como los pesticidas, fertilizantes, cama de pollo y agua.

Para cada uno de los 24 criterios existen varios indicadores. Por ejemplo el criterio uso de insumos agrícolas y recursos como se observa en el cuadro 1 fue evaluado mediante los indicadores pesticidas, fertilizantes, condicionantes del suelo, agua incorporada, agua para procesos y área de suelo. De la misma manera los otros veintitrés criterios poseen sus propios indicadores (cuadro 2).

Cuadro 2. Indicadores evaluados para cada criterio por la metodología Ambitec Agro.

Criterios de desempeño de la actividad	Indicadores							
Uso de insumos agrícolas y recursos	Pesticidas	fertilizantes	Condiciones del suelo	Agua incorporada	Agua procesada	Suelo área		
Uso de insumos veterinarios y materias primas	Productos veterinarios	forraje	Piensos y suplementos	Materias primas básicas	Materias primas p/ procesos	Aditivos		
Uso de energía	Combustibles fósiles	Biocombustibles	Biomasa	Electricidad				
Atmósfera	GEIS	Partículas de humo	Olores	Ruidos				
Suelo	Pérdida de materia orgánica	Pérdida de nutrientes	Compactación	Erosión				
Agua	Demanda bioquímica de oxígeno	Turbidez	Espumas/grasas/ materiales flotantes	Sedimentación / colmatación				
Biodiversidad	Pérdida de la vegetación nativa	Pérdida de corredores de fauna	especies/ variedades nativas					
Recuperación ambiental	Suelos degradados	Ecosistemas degradados	Áreas de preservación permanente / Reservas legales					
Calidad del producto	Reducción de residuos químicos	Reducción de contaminantes biológicos	Disponibilidad de fuentes de insumos	Idoneidad de las fuentes de insumos				
Ética productiva	Confort térmico animal	Acceso a agua y suplementos	Seguridad y asepsia	Cabida en el área de manejo	Conducta ética del descarte			
Capacitación	Local de corta duración	Especializada de corta duración	Oficial regular	Básica	Técnica	Superior		
Oportunidad de empleo local cualificado	Propiedad local	Municipio	Región	Básica	Básica especializada	Técnica media	Técnica superior	
Oferta de empleo/ condición del trabajador	Temporal	Permanente	Parcero	Familiar				
Calidad del empleo	Prevención del trabajo infantil	Jornada de trabajo <44 horas	Registro	Contribución a la seguridad social	Auxilio morada	Auxilio alimentación	Auxilio transporte	Auxilio salud
Generación de renta	Seguridad	Estabilidad	Distribución	Total de la renta				
Diversidad de fuentes de renta	Agropecuarias en la propiedad	No Agropecuarias en la propiedad	Oportunidad de trabajo fuera de la propiedad	Famificación empresarial	Aplicaciones financieras			
Valor de la propiedad	Inversiones en infraestructura	Conservación de recursos naturales	Precios de productos y servicios	Conformidad con la legislación	Infraestructura política tributaria			

Salud ambiental y personal	Focos de vectores de molestias endémicas	Emisión de contaminantes atmosféricos	Emisión de contaminantes hídricos	Generación de contaminantes del suelo	Dificultad de acceso al deporte y ocio			
Seguridad y salud ocupacional	Pedregosidad	Ruido	Vibración	Calor/frío	Humedad	Agentes químicos	Agentes biológicos	
Seguridad alimentaria	Garantía de producción	Cantidad de alimento	Calidad nutricional del alimento					
Dedicación y perfil del responsable	Capacitación dirigida a la actividad	Horas de permanencia en la actividad	participación familiar	Uso del sistema de contabilidad	Modelo formal de planeamiento	Sistema de certificación		
Condición de comercialización	Venta directa/ anticipada/cooperativa	Procesamiento local	Alimentación local	Transporte propio	Propaganda de marca propia	Encadenamiento con productos/ actividades/ servicios anteriores	Cooperación con otros productores locales	
Reciclaje de residuos	Colecta selectiva	Compostaje / Reuso	Destino final	Reuso de residuos de producción	Destino o tratamiento final de residuos de producción			
Relación institucional	Utilización de asistencia técnica	Asociatividad/cooperativas	Afiliación tecnológica definida	Utilización de asesoría legal	Gerente	Empleados especializados		

Vale la pena mencionar que esta metodología presenta criterios que mediante una serie de indicadores específicos para cada criterio se pueden evaluar. Los impactos que fueron mencionados previamente para los cultivos de la papa y el aguacate pueden ser evaluados mediante los indicadores uso de insumos agrícolas y su efecto sobre los recursos naturales, atmósfera, suelo, agua, la biodiversidad entre otros indicadores presentes en el cuadro 2.

El coeficiente de desempeño de cada criterio se multiplica por el peso del criterio y se obtiene el valor del **índice de desempeño de cada criterio, luego se suman los 24 índices de desempeño de los criterios y se obtienen el** índice de desempeño de la actividad agropecuaria (cuadro 3).

El índice de desempeño de la actividad resulta al final de la matriz, y da idea del impacto observado, relativo a los indicadores específicos, variando en una escala de -15 a +15.

Cuadro 3. Desempeño agroambiental del cultivo del tomate según la metodología Ambitec Agro.

Criterios de desempeño	Peso del criterio	Coficiente de desempeño	Indice de desempeño del criterio
Uso de insumos agrícolas y recursos	0.05	-12	-0.60
Uso de insumos veterinarios y materias primas	0.05	-2	-0.10
Uso de agua	0.05	-4	-0.20
Atmósfera	0.02	-0.4	-0.01
Suelo	0.05	-1.25	-0.06
Agua	0.05	1.5	0.08
Biodiversidad	0.05	0.7	0.04
Recuperación ambiental	0.05	0.6	0.03
Calidad del producto	0.05	1.25	0.06
Etica productiva	0.05	0.8	0.04
Capacitación	0.05	4.25	0.21
Oportunidad de empleo local cualificado	0.02	0.87	0.02
Oferta de empleo/ condición del trabajador	0.05	0.1	0.01
Calidad del empleo	0.05	2	0.10
Generación de renta	0.05	-7.5	-0.38
Diversidad de fuentes de renta	0.025	1.25	0.03
Valor de la propiedad	0.025	6	0.15
Salud ambiental y personal	0.02	0	0.00
Seguridad y salud ocupacional	0.02	-2.5	-0.05
Seguridad alimentaria	0.05	0.7	0.04
Dedicación y perfil del responsable	0.05	9.75	0.49
Condición de comercialización	0.05	2.25	0.11
Reciclaje de residuos	0.05	6	0.30
Relación institucional	0.02	2.75	0.06
Ponderación	1	Indice de desempeño socio ambiental de la actividad	0.35

El cuadro 3 presenta un índice de desempeño de la actividad con un valor de 0.35 esto implica que el balance de impacto es favorable. En el cuadro puede analizarse el desempeño de los diferentes indicadores y su influencia a nivel general.

Ambitec-Agro es un método consistente, adecuado para evaluar el desempeño ambiental de actividades vinculadas a la agroindustria, es simple de evaluar, pueden ser llevado adelante por personal entrenado, permite la participación de los productores o responsables de los establecimientos y pone a disposición del productor el resultado de cada criterio, de manera tal que se puede analizar el efecto ya sea positivo o negativo de cada variable sobre el desempeño socio ambiental de un cultivo.

La metodología permite evaluar una o varias fincas a la vez por lo tanto posibilita realizar una identificación de las principales restricciones en la cadena, de manera que las autoridades responsables de las políticas públicas locales o nacionales determinen los mejores instrumentos para el cumplimiento de las actividades económicas promovidas, en este caso el plan de negocios de la industria del tomate.

6.2 Evaluación de impactos en programas de manejo integrado de plagas (MIP)

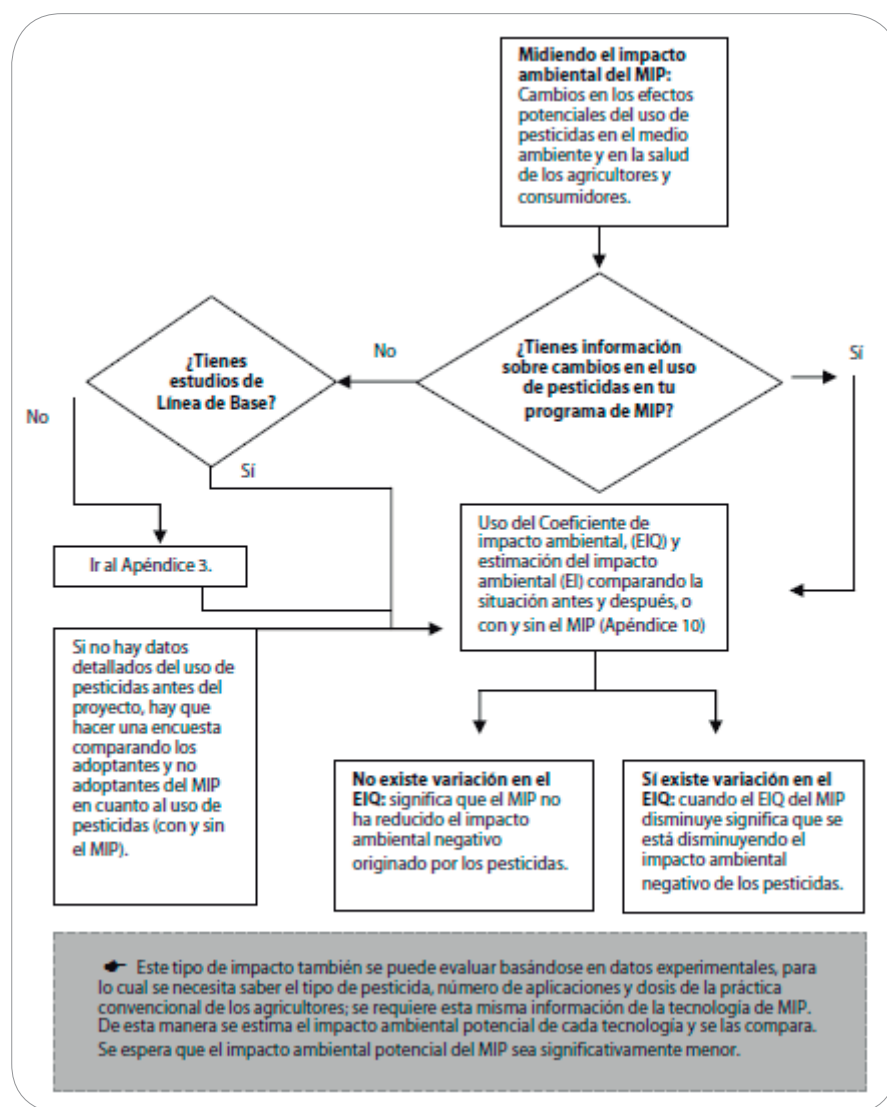
Ortiz y Pradel (2009) emitieron una guía para la evaluación de impactos en programas de manejo integrado de plagas para el cultivo de la papa. Esta guía introduce métodos y conceptos para evaluar los impactos que pueden generar los programas o proyectos de MIP. La filosofía de la guía es que la evaluación del impacto del MIP no es una tarea que se puede dejar para el final, más bien la evaluación de impacto debe ser planificada desde el momento del diseño del proyecto, debe continuar durante el desarrollo del mismo y al final, simplemente se debe complementar la información necesaria para las evaluaciones. A continuación se presenta la metodología siguiendo diagramas de flujo que el lector puede seguir fácilmente y encontrar, paso a paso, la explicación de los métodos más apropiados para evaluar los diferentes tipos de impacto del MIP.

Pasos metodológicos para la evaluación de impactos ambientales del MIP

Los diagramas de flujo tienen por objetivo guiar al lector a través de las principales preguntas que tienen que ser respondidas para la evaluación de diferentes tipos de impacto de un programa de MIP. La primera pregunta intenta establecer la etapa en que está el programa de MIP que se pretende evaluar. Una vez definida la etapa se definen los impactos se desean medir. Los diagramas proveen alternativas, que están relacionadas con la evaluación del

impacto respecto al capital humano (cambios en conocimiento, actitudes y habilidades), el capital social (cambios en organización, redes sociales, acceso a información, etc.), en aspectos económicos (beneficios netos y retornos a la inversión) y en aspectos ambientales, referidos específicamente a cambios en el uso de pesticidas.

El impacto ambiental del MIP evalúa el uso de los pesticidas sobre el medio ambiente, la salud de los agricultores y los consumidores. Para eso se debe establecer si se cuenta con información sobre el uso de los pesticidas en el programa MIP o si se cuenta con estudios de línea base (figura 5).



Fuente: Ortíz y Pradel (2009).

Figura 5. Pasos metodológicos para la evaluación del impacto ambiental del manejo integrado de plagas.

6.3 Metodología para medir el coeficiente de impacto ambiental (EIQ) y el impacto ambiental (EI)

El coeficiente de impacto ambiental (EIQ por sus siglas en inglés) y el impacto ambiental (EI) fueron desarrollados por la universidad de Cornell (Kovach *et al.*, 2004). El impacto ambiental (EI por sus siglas en inglés) es un indicador que sirve para valorar el riesgo potencial causado por el uso de los pesticidas en cultivos agrícolas a los agricultores que los aplican, a los consumidores y al componente ecológico. Es una metodología que requiere información fácil de obtener por ejemplo, el tipo de pesticida, las dosis empleadas, la frecuencia de aplicaciones y que permite evaluar los impactos que se generan de programas o proyectos de MIP. Se puede comparar el impacto ambiental (EI) “antes” del proyecto MIP con la situación generada “después” del proyecto.

Existen valores EIQ para la mayoría de pesticidas (cuadros 4 y 5), cuando el pesticida a ser usado no se encuentre en la lista, se deberá estimar su valor de EIQ de teniendo en consideración el componente activo que tiene el producto y la concentración del mismo en el producto. Si no se encuentra el principio activo en la lista, se debe averiguar a qué familia de pesticidas pertenece el producto, y filtrar los pesticidas con la misma clasificación toxicológica de la OMS que el pesticida en cuestión. De los pesticidas que cumplan dichas condiciones, se obtiene un promedio de EIQ con los valores indicados en los cuadros a continuación.

Cuadro 4. Cálculo de los valores de impacto ambiental (EI) en campos de agricultores con el cultivo de tomate usando la tecnología MIP y el manejo tradicional del agricultor para el control de la mosca blanca en la localidad de Comarapa, Bolivia. 2007 – 2008.

Tecnología	Insecticida	Ingrediente activo	Concentración	Cantidad/ha	No Aplicaciones	EIQ	EI/ha
Caso TOMATE							
MIP	Impacto	Imidacloprid (%)	70%	0.1	2	34.9	4.89
	Engeo	Tiametoxam (Kr/l)	0.141	0.25	1	33.3	1.17
		Lambdacyolotrina (kr/l)	0.106	0.25	1	43.5	1.15
	Total						
Agricultor	Impacto	Imidacloprid (%)	70%	0.1	6	34.9	14.66
	Curacon	Profenofos	50%	1	2	26	26
	Sunfire	Clorfenapir (%)	50%	0.25	2	84.5	21.13
	Engeo	Tiametoxam (Kr/l)	0.141	0.25	2	33.3	2.35
		Lambdacyolotrina (kr/l)	0.106	0.25	2	43.5	2.31
	Hook	Buprofezin (%)	25%	0.5	2	27.63	6.91
	Total						

Cuadro 5. Cálculo de los valores de impacto ambiental (EI) en campos de agricultores con el cultivo de papa usando la tecnología MIP y el manejo tradicional del agricultor para el control de la mosca blanca en la localidad de Comarapa, Bolivia. 2007 – 2008.

Tecnología	Insecticida	Ingrediente activo	Concentración	Cantidad/ha	No Aplicaciones	EIQ	EI/ha
Caso PAPA							
MIP	Impacto	Imidacloprid (%)	70%	0.1	1	34.9	2.44
	Total						2.44
Agricultor	Espartaco	Cartap (%)	50%	1	3	26	39
	Rambo	Metomil (%)	20%	0.9	1	30.7	5.53
	Impacto	Imidacloprid (%)	70%	0.1	4	34.9	9.77
	Hook	Buprofezin (%)	25%	0.5	1	27.63	3.45
	Total						57.75

El cálculo del EIQ se basa en una metodología de ponderación que permite evaluar el riesgo ambiental y de salud de un esquema de aplicación de pesticidas. El modelo de EIQ usa datos toxicológicos e información de parámetros químicos para calcular el riesgo a los agricultores, consumidores y organismos ambientales y de esta manera, se genera un coeficiente compuesto del impacto ambiental para cada pesticida que está siendo comparado. Para muchos pesticidas, los valores ya fueron calculados. El primer paso es, pues, buscar en los cuadros 4 y 5 los pesticidas que usan los agricultores.

La ecuación para calcular el valor del coeficiente de impacto ambiental (EIQ) para cada pesticida indicado en los cuadros es:

EIQ =

$$[C [(DT * 5) + (DT * P)] + [C \times [(S + P) / 2] * SY] + (L) + (F * R) + [D * [(S + P) / 2] * 3] + [Z * P * 3] + (B * P * 5)] / 3$$

Donde:

C = Toxicidad crónica

DT = Toxicidad dermal

P = Vida media de residuos en superficie de planta

S = Vida media de residuos en el suelo

SY = Sistemática

L = Potencial de lixiviación

F = Toxicidad en peces

R = Potencial de escorrentía

D = Toxicidad en aves

Z = Toxicidad en abejas

B = Toxicidad en artrópodos benéficos

Los valores en la ecuación son obtenidos de la información toxicológica de varias bases de datos que incluyen el "Extensión Toxicology Network" (EXTOXNET), CHEM-NEWS, SELCTV, fichas de datos de los fabricantes de los químicos y fuentes de datos públicos como las disponibles en la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos de América". La información sobre los valores de toxicidad crónica (C) en la porción de salud humana, provienen de base de datos de estudios de efectos mutagénicos en animales, teratogénicos, reproductivos y oncogénicos de estos químicos. Los valores estimados se presentan en los cuadros 4 y 5.

Kovach *et al.*, (1992) presentan cuadros con valores del coeficiente de impacto ambiental para fungicidas, insecticidas, nematicidas y herbicidas utilizados comúnmente en la agricultura. Una vez obtenidos los valores de EIQ para el ingrediente activo de cada pesticida, se calcula la proporción de uso en campo para obtener el valor de impacto ambiental en campo (EI), para ello se multiplica el EIQ por la dosis, el porcentaje del ingrediente activo, y el número de aplicaciones de cada pesticida. A mayor valor del EI, mayor potencial de impacto ambiental negativo. Estos valores de campo son útiles para hacer comparaciones entre pesticidas o entre diferentes programas de manejo de plagas.

A continuación se presenta un estudio de caso presentado por Ortíz y Pradel (2009) en el cual se compara el impacto ambiental de los plaguicidas utilizados de manera tradicional y bajo un manejo integrado de plagas para el manejo de la mosca blanca en los cultivos de tomate y papa en Bolivia por la Fundación PROINPA.

Los resultados del análisis muestran que la tecnología MIP presentó un impacto significativamente menor que la tecnología utilizada por el agricultor pues en la tecnología MIP se aplicaron insecticidas solamente cuando la cantidad de mosca blancas superaron los umbrales de aplicación. En el caso del tomate, la tecnología de MIP redujo el impacto ambiental desde 73.4 a 7.21 y, en el caso de papa, desde 57.75 a 2.44, lo cual representa una reducción sustancial del riesgo causado por los pesticidas al ambiente, a las personas y una reducción importante en los costos de producción.

6.4 Huella de carbono

La Huella de Carbono (HC) es la medida del impacto que tiene una actividad sobre el medio ambiente, especialmente en relación al cambio climático”; es decir, es la cuantificación de las emisiones, directas e indirectas, de Gases de Efecto Invernadero, en adelante GEIs, (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs and SF_6) que son liberadas a la atmósfera como consecuencia de la actividad de una empresa, del ciclo de vida de un producto, la organización de un evento o de la actividad de una persona. Dichas emisiones son consecuencia de la producción de energía eléctrica, uso de combustibles fósiles, operaciones de transporte y otros procesos agrícolas o agroindustriales. La huella de carbono aporta información sobre la cantidad de GEIs emitidos a lo largo del ciclo de vida de un producto (García s.f.).

Viene expresada en toneladas (o kilogramos) de CO_2 por tonelada (o kilogramo) de producto y se encuentra referida siempre a un periodo temporal específico. Las huellas de carbono para productos se calculan con los siguientes objetivos:

- Contar con una herramienta de gestión de carbono.
- Identificar las principales fuentes de emisiones de GEI asociadas a la producción de determinado producto.
- Definir objetivos con base en información verificada.
- Crear políticas de reducción de emisiones más eficaces al mostrar cuáles son las principales fuentes de emisiones.
- Dirigir iniciativas de ahorro de costos (principalmente por eficiencia energética de los procesos).
- Demostrar a terceros un compromiso de responsabilidad empresarial y medioambiental.
- Aportar una diferenciación de mercado.
- Disponer de información para grupos de interés.
- Aportar una estrategia de comunicación y transparencia.
- Compensar las emisiones de su actividad.

6.4.1. Metodología para calcular la huella de carbono

Actualmente existen un gran número de metodologías y normas para abordar el cálculo de la Huella de Carbono, todas ellas con base en la norma ISO 14044 de análisis de Ciclo de Vida (ACV). Las más recomendadas para Huellas de Carbono de productos son:

- PAS 2050 (BSI/DEFRA/Carbon Trust – UK): Basada en las normas ISO 14040 e ISO 14044 de análisis de ciclo de vida.
- GHG Protocol – Product Standard (WRI/WBCSD)
- ISO 14067: Cálculo de Huella de Carbono de productos.

García (s.f.) menciona que para calcular la huella de carbono de un producto se deben seguir las siguientes fases.

Fase de arranque

En esta fase se define el objetivo del estudio, se identifica la unidad funcional y el alcance del estudio. Existen tres alcances a la hora de recopilar datos, siendo el alcance 1 y 2 el mínimo exigible para el cálculo. El alcance 3 tiene un carácter voluntario, y es el usuario quien decide si se incluye o no en el estudio. Los tres alcances se definen como:

- a) Alcance 1: Emisiones de GEIs de fuentes directas que pertenecen o son controlados por la compañía (quema de combustibles en fábrica, reacciones químicas del proceso, emisiones de gases refrigerantes).
- b) Alcance 2: Emisiones de GEIs de fuentes indirectas derivadas de la generación de electricidad adquirida por la empresa.
- c) Alcance 3: Emisiones indirectas no contempladas en el alcance 2. Estas pueden provenir de la extracción y producción de materias primas, transporte de materias primas y combustibles, generación de residuos, etc.

Una vez definido el alcance, se realiza un mapa del proceso. Esto significa plasmar de forma gráfica las actividades del ciclo de vida del producto que aportan emisiones, y la relación existente entre ellas. Desde la producción de materias primas, hasta el consumo final y su posterior desechado/reciclado; marcando todos los inputs/outputs de materias primas, todos los transportes que se realizan dentro de la cadena de producción y los puntos donde se generan residuos. Una vez definido el mapa del proceso, y solo en el caso de estar hablando de cálculo de huella de carbono de productos, se procede a decidir la clase de huella que se desea calcular:

- Business-to-consumer (BC), donde el consumidor es el usuario final. En este caso estaríamos hablando de una HC “cradle-to-grave” (Desde el nacimiento hasta la tumba), donde se incluyen las emisiones aportadas por la producción de las materias primas, su transporte, las instalaciones donde se transforman las materias primas, el proceso de producción, la distribución, el consumo del cliente final y el reciclado o eliminación de desechos.
- Business-to-business (BB), donde el consumidor final es otra empresa que utiliza el producto como materia prima. En este caso se habla de una HC “cradle-to-gate” (desde el nacimiento hasta la puerta); donde se incluyen las emisiones aportadas por la producción de las materias primas, su transporte hasta las instalaciones en cuestión, la producción y el transporte hasta el cliente.

Los pasos que se deben seguir para conseguir una huella de carbono relevante, completa, consistente, precisa y transparente se mencionan a continuación.

a) Recopilación de datos de inventario:

Se recopilan los datos de actividad referidas a todas las entradas y salidas del ciclo de vida del producto; dentro de los límites establecidos en el estudio. Se recomienda utilizar el mayor número de datos primarios; es decir, datos que controle directamente la empresa. En caso de no disponer de dicha información, se requieren datos secundarios o genéricos que se pueden obtener de fuentes externas (Base de datos, estudios científicos, etc.)

b) Búsqueda de factores de emisión:

Se buscan factores de emisión para realizar la huella de carbono de un producto específico. El cálculo de la huella de carbono de un producto se realiza utilizando la siguiente fórmula

$$HC = \text{Datos de actividad (unidad de masa, unidad de volumen)} \times \text{factor de emisión (CO2 equivalente por unidad de actividad)} \times GWP \text{ Unidad Funcional}$$

Esto quiere decir que se requieren los factores de emisión de los diferentes materiales y combustibles que se utilizan a lo largo del ciclo de vida del producto. Existen diferentes fuentes donde recopilar factores de emisión, como por ejemplo el IPCC y bases de datos oficiales. El problema en este paso reside en decidir de donde tomar dichos factores de emisión, ya que la diferencia para un mismo factor, de una fuente a otra, puede variar y no existe un acuerdo internacional que defina los criterios que se deben utilizar para seleccionar la información a partir de las diferentes fuentes de datos disponibles. Hay que realizar una búsqueda muy exhaustiva de los factores y en algunos casos se debe pagar por la obtención de los mismos, ya que estos no son públicos. Por otro lado, si se cuenta con herramientas de cálculo, normalmente tienen sus propias bases de datos. Esto facilita el trabajo de búsqueda, pero no suelen contar con todos los materiales/productos que se necesitan.

c) Cálculo:

Existen diferentes herramientas para el cálculo de la huella de carbono en las cuales se puede introducir datos de consumos (energía, materiales, etc), factores de emisión, diferentes fases del proceso para obtener valores de huellas de carbono. Por norma general la introducción de datos en estas herramientas requiere un laborioso trabajo de tratamiento de datos para introducirlos en las unidades que requieren las herramientas. En el caso de la huella de carbono de producto, una parte importante es realizar la asignación de emisiones. Esta asignación consiste en realizar una diferenciación de procesos para asignar las emisiones que realmente corresponden al producto. Es decir, hay que eliminar de la huella la cantidad de emisiones que va destinadas a la producción de subproductos que conllevan el proceso del producto final. Dicha asignación se puede realizar bien por valor económico; es decir, se puede hacer un porcentaje de cuanto corresponde al producto de estudio respecto a las ganancias totales. Esta asignación se puede realizar también por energía, siempre que se pueda aislar el consumo de energía para la fabricación del producto elegido sobre el consumo total.

d) Análisis de datos

Una vez calculada la huella de carbono, se procede a realizar un análisis de los resultados. En este paso se observa cuáles son los procesos, materias primas, transportes que aportan una mayor cantidad de emisiones al estudio. Estos sirven para conocer los principales focos de emisión y así saber sobre que partes del proceso se debe actuar para reducir emisiones. El análisis permite tomar decisiones con base a acciones argumentadas, reducir costos y ser más eficiente energéticamente.

e) Comunicación y compensación de la HC

La huella de carbono, aparte de nacer como una herramienta de gestión de carbono para las empresas, surgió con la idea de formar parte de sus estrategias de diferenciación de mercado. Una vez calculada, y tras un proceso de verificación y validación de los resultados obtenidos por una entidad externa, se puede comunicar el resultado si la empresa quiere hacer público el estudio. El objetivo de la comunicación es hacer llegar a los clientes la información, bien sea publicando el dato en las páginas web de las empresas, informes medioambientales públicos, o bien mediante el etiquetado de los envases en el caso de la HC de producto; de tal manera que los consumidores puedan decidir que producto comprar o consumir en relación a las emisiones que produce.

A la hora de comunicar una huella de carbono de un producto o empresa existen diferentes etiquetas que pueden figurar en los envases:

- Emisiones calculadas: Indica que la empresa tiene calculada su HC y si lo considera oportuno puede poner resultado final de la HC calculada.
- Emisiones compensadas: Indica que la empresa no solo tiene calculada su HC sino que también la ha compensado a través de uno de los mecanismos de compensación (VER's, CER', proyectos forestales).
- Emisiones reducidas: Indica que la empresa ha calculado su HC y ha adquirido un compromiso de reducción de la misma.

6.4.2. Metodología para realizar un análisis de ciclo de vida

El análisis de ciclo de vida es una herramienta que es parte fundamental de una huella de carbono pero por si misma puede dar idea del impacto ambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida.

Torrellas *et al.*, (2008) utilizando un análisis de ciclo de vida, basado en la norma ISO 14040 (2006) evaluaron las entradas, salidas e impactos ambientales potenciales de un sistema de producción de tomate en invernadero. El ACV incluyó cuatro fases, i) definición del objetivo y alcance del estudio, ii) análisis del inventario, iii) análisis del impacto e iv) interpretación.

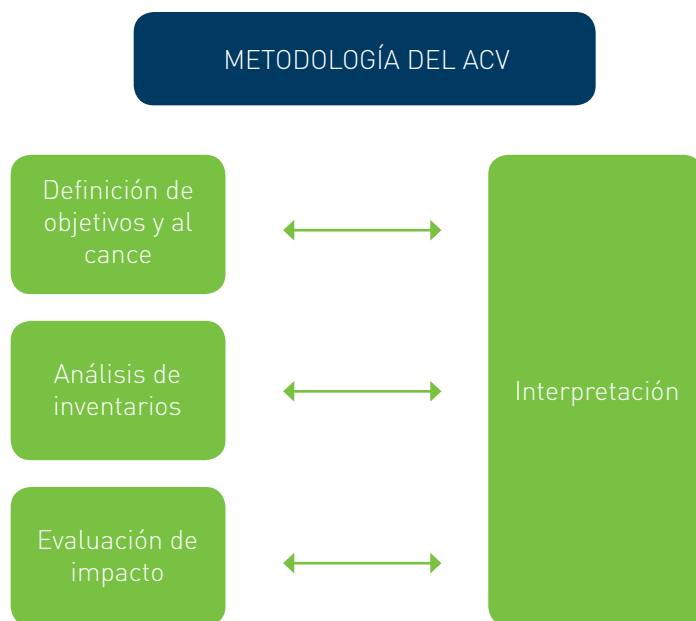


Figura 6. Fases del ACV según la norma ISO 14040.

Se definió como unidad funcional una tonelada de tomates. Los límites contemplaron desde la extracción de materias primas hasta la salida del producto de los invernaderos, incluyendo la gestión de residuos generados. Los procesos incluidos en el análisis ambiental fueron la extracción de materias primas. La fabricación de los materiales utilizados en la construcción del invernadero, el transporte de materiales, la eliminación de residuos, el consumo de energía, el consumo de agua, fertilizantes y plaguicidas. La fase del inventario de ciclo de vida comprendió la obtención de los datos y los cálculos que permitieron identificar y cuantificar los efectos ambientales adversos asociados a la unidad funcional.

Con el fin de facilitar el análisis de inventario y la interpretación de resultados del sistema de producción se estructuró en los siguientes subsistemas: la estructura del invernadero, el equipo auxiliar, el sistema de control climático, los fertilizantes, los plaguicidas y la gestión de residuos figura 7.

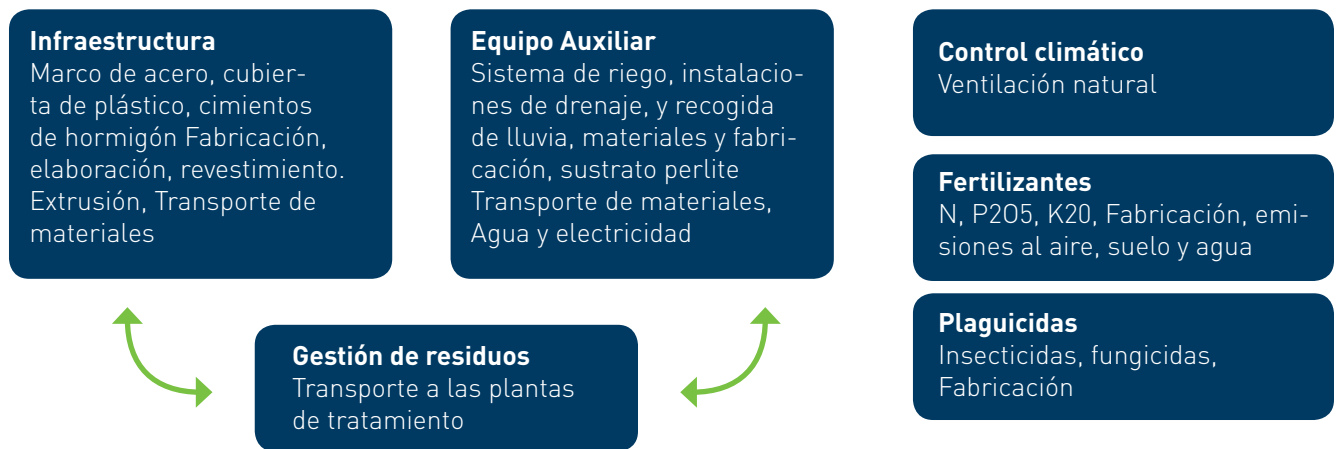


Figura 7. Diagrama de flujo del sistema de producción de tomate en un invernadero micro túnel.

Para el análisis del impacto ambiental se definieron las siguientes categorías:

- Demanda de energía acumulada CED (MJ eq) como indicador del flujo de energía
- Agotamiento de recursos no renovables AD (kg Sb eq)
- Acidificación del aire AA (kg S04 2 eq)
- Eutrofización EU (kg PO4 eq)
- Calentamiento global, GW (kg CO2 eq)
- Formación de oxidantes fotoquímicos PO (C2H4 eq).

La vida útil del invernadero se estimó en 15 años. Se incluyó la fase de análisis de impacto de ciclo de vida. Las principales cargas ambientales detectadas en el ACV del sistema de producción del tomate fueron la estructura, el equipo auxiliar y los fertilizantes. Los impactos ambientales de los fertilizantes se debieron a las emisiones producidas durante la fabricación y aplicación. Las emisiones debidas al uso de fertilizantes fueron las mas altas para las categorías eutrofización y calentamiento global debido en gran parte a las emisiones de NO3, y a las emisiones de N20 un gas con un importante efecto de invernadero para la categoría de calentamiento global, y al agua de los lixiviados para la categoria de eutrofización (figura 8).

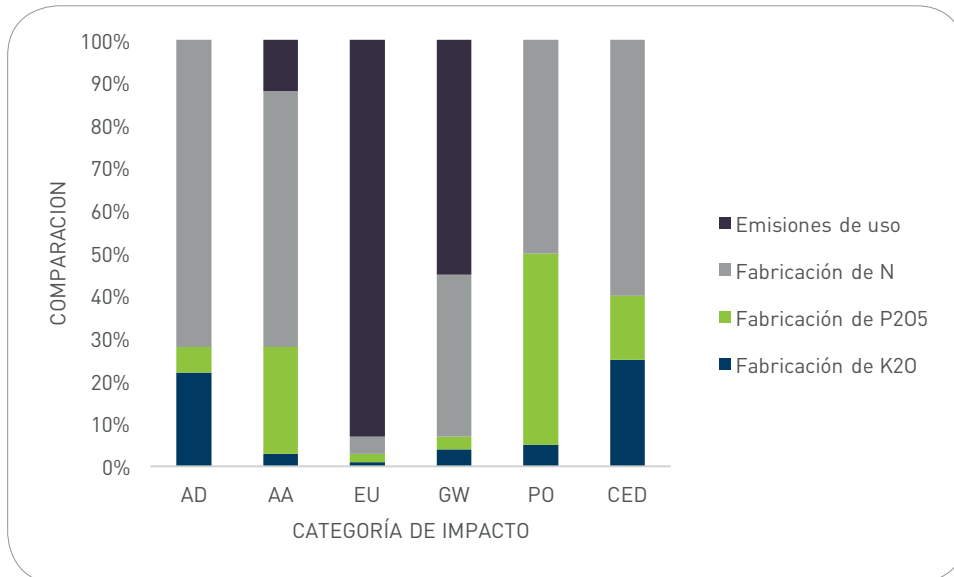


Figura 8. Contribución de los fertilizantes utilizados en el cultivo de tomate a las categorías de impacto seleccionadas en un invernadero tipo microtúnel. Categorías AD, Agotamiento de recursos no renovables, AA, Acidificación del aire; Eu, Eutrofización, GW, Calentamiento global, PO, Formación de oxidantes químicos, CED, Demanda de energía acumulada.

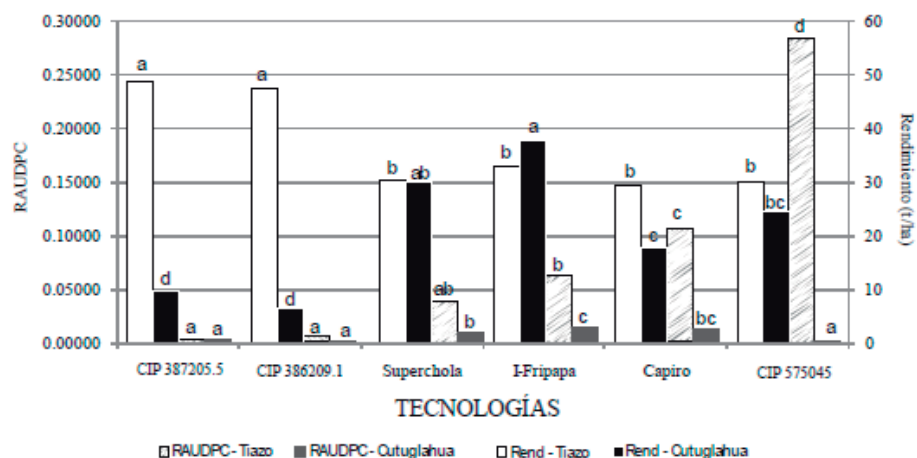
6.5. Metodologías mixtas para la medición del impacto ambiental de tecnologías agropecuarias

Las metodologías pueden además de incluir el impacto ambiental, el rendimiento, la rentabilidad o costo efectividad de la tecnología agropecuaria aportar evidencia para que productores, extensionistas o formuladores de políticas cuenten con evidencias que conduzcan a mejorar la toma de decisiones.

Evaluación del impacto ambiental de tecnologías para la producción de papa

En dos localidades de Ecuador (Cutuglahua, 3050 msnm y Tiazo, 2642 msnm), Taipe *et al.*, 2008 evaluaron 6 materiales a saber 3 variedades de papa comunes para los productores (Diacol-Capiro, Superchola, I-Fripapa) y 3 clones (CIP575045, CIP386209.1 y CIP387205.5) ´provenientes del CIP. Todos los materiales las cuales fueron expuestos a los manejos agronómicos: i) MIPE, y ii) convencional. Los tratamientos se ubicaron en un diseño de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Se evaluó la severidad del tizón tardío con lecturas cada 4 días la cual se expresó como el área bajo la curva de progreso de la enfermedad relativa (RAUDPC por su sigla en inglés) ya que los tratamientos tuvieron distinto periodo de maduración, rendimiento (t/ha) y el impacto ambiental (TIA) de cada producto utilizado el cual se obtuvo multiplicando el coeficiente de impacto ambiental por la dosis y número de aplicaciones, y el ingrediente activo de cada producto. Luego se sumó el impacto ambiental de cada producto dentro de cada manejo agronómico para obtener el impacto ambiental de cada tecnología.

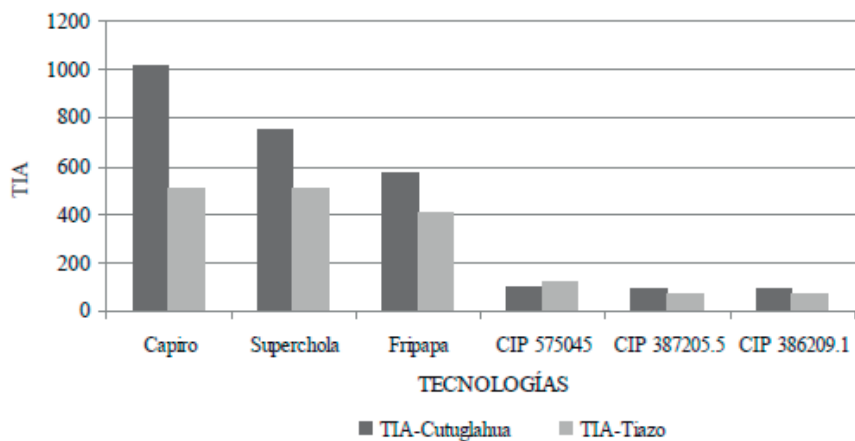
Los resultados obtenidos fueron similares en ambas localidades. El análisis de variancia estableció diferencias significativas de los tratamientos en las variables severidad de tizón tardío (RAUDPC) y rendimiento. Los clones CIP 387205.5 y CIP 386209.1 mostraron una resistencia estable a *P. infestans* en ambos sitios. Los valores de severidad de Capiro, Superchola y I-Fripapa fueron más altos que el de los clones a pesar del control de tizón tardío que se realizó lo que indica la alta susceptibilidad de estas variedades. En Tiazo el rendimiento de CIP 387205.5 y CIP 386209.1 alcanzó niveles similares a los reportados en otras investigaciones, lo que no ocurrió en CIP-Quito donde un fuerte invierno (1400 mm de lluvia) influyó de forma negativa especialmente a los clones (figura 9).



Fuente: Taïpe *et al.* (2008).

Figura 9. Rendimiento y área bajo la curva de progreso de la enfermedad relativa en seis materiales de papa evaluados bajo dos distintos manejos en dos localidades e Ecuador.

La TIA de cada tratamiento fue muy similar en los dos sitios. En términos generales las tecnologías propuestas (clones CIP con MIPE) solamente tuvieron un impacto ambiental del 10 al 17% del impacto ambiental que generan tecnologías del agricultor cultivando Diacol- Capiro, Superchola y I-Fripapa de forma tradicional. En Tiazo la TIA fue menor que en Cutuglahua. La mayor TIA de Capiro, Superchola y I-Fripapa se debe a que por su largo ciclo de cultivo y susceptibilidad a TT requirieron más aplicaciones y fungicidas con mayor CIA (figura 10).



Fuente: Taïpe *et al.* (2008).

Figura 10. Tasa de Impacto Ambiental de 6 tecnologías (variedad + manejo) para la producción de papa en dos localidades de Ecuador.

Las tecnologías CIP 387205.5 y CIP 386209.1 con MIPE son menos contaminantes que las tecnologías ampliamente practicadas en Ecuador. Además los rendimientos que alcanzan garantizan la seguridad alimentaria de agricultores de bajos recursos.

CONSIDERACIONES FINALES

El inadecuado manejo de los plaguicidas y fertilizantes, así como el inapropiado manejo de suelos y la selección de los mismos para establecer los cultivos como el tomate, la papa, el aguacate o la yuca trae consecuencias ambientales severas que repercuten sobre la atmósfera, el agua, los suelos, la biodiversidad, las personas y los ecosistemas.

Existen metodologías holísticas para evaluar los efectos ambientales de las tecnologías agropecuarias sobre los diferentes componentes del ambiente, mientras que otras solamente evalúan los efectos ambientales de un componente por separado por ejemplo sobre la atmósfera, el suelo o el agua.

En Centroamérica existe evidencia de un alto uso de insumos agrícolas (pesticidas, plaguicidas, y fertilizantes químicos) utilizados especialmente en los cultivos del tomate y la papa, e incluso se reportan casos de mantos acuíferos utilizados por las poblaciones contaminados por el uso inapropiado de los agroquímicos.

La aplicación de metodologías para evaluar el impacto ambiental de tecnologías agropecuarias es un aspecto positivo porque permite identificar el desempeño ambiental de las actividades productivas, determinar los aspectos críticos, cual es la magnitud del daño, y que los actores involucrados traten de buscar soluciones que ayuden a reducir e incluso eliminar el o los impactos asociados a la utilización de las tecnologías en los cultivos, concientizar a los productores de la importancia de reducir el impacto ambiental de los agroquímicos para reducir la concentración de los plaguicidas en los productos finales, las aguas de consumo humano, disminuir la huella de carbono, incrementar la rentabilidad de la actividad agrícola, y evitar daños a la salud de las personas y de los ecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alatorre, R. 2002. XII Curso Nacional de Control Biológico en México. Hermosillo, Sonora. Memorias. pp. 95-105.
- Antón, A; Montero, J; Muñoz, P. and Castells, F. 2005. LCA and Tomato Production in Mediterranean Greenhouses. *International Journal of Agricultural Resources Governance and Ecology* 4:102-112.
- Audsley, E. 1997. Harmonisation of Environmental Life Cycle Assessment for Agriculture. Final Report Concerted action AIR3-CT94-2028. European Commission DG VI Agriculture.
- Bowen W, Baethgen W. 1998. Simulation as a tool for improving nitrogen management. Understanding option for agricultural production. In: Tsuji G, Hoogenboom G, Thornton P. Understanding options for agricultural production. Dordrecht (The Netherlands): Kluwer Academic Publishers. p. 189-204.
- Canal 19. 2014. La contaminación por el uso de los agroquímicos en Miraflores-Moropotente. Consultado el 20 de Diciembre 2016. Disponible en: <https://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:23446-la-contaminacion-por-el-uso-de-los-agroquimicos-en-miraflores-moropotente>
- Cárdenas EA, Panizo L. 2005. Sustainable pastures for the high altitude Andean tropics of Colombia. En: O'Mara F, Wilkins R, Munn L, Lovett D, Rogers P, Boland T. XX International Grassland Congress: Offered papers. Dublin College University. Dublin (Irlanda). 26 de junio - 1 de julio de 2005. p. 704.
- Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM). 2001. Atlas Forestal del Estado de Michoacán. Morelia, Mich. México. 97 p.
- FAO. s.f. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. Consultado el 1 de enero 2017. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s06.htm>
- García, G. s.f. Huella de carbono. Consultado el 1 de enero 2017. Disponible en http://www.aec.es/c/document_library/get_file?p_l_id=134222&folderId=997154&name=DLFE-14101.pdf
- Garibay, O. C. y G. Bocco. 2005. Situación Actual en el Uso del Suelo en Comunidades Indígenas de la Región Purépecha 1976-2005. Centro de Investigaciones de Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Garzón y Cárdenas 2013. Anthropogenic emissions of ammonia. Nitrates and nitrous oxide nitrous compounds that affect the environment in the Colombian Agricultural sector. *Rev. Med. Vet. Zoot.* 60 (II), Mayo - Agosto 2013: 121-138.
- Hernández, U; Berlanga, M. 1999. Control Biológico. Centro Nacional de Referencia. Tecomán, Colima. pp: 2- 22.
- Irias, M; Rodrigues, G; Campanhola, C; Kitamura, P; Rodrigues, I.; Buschinelli, C. 2004b. Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental de Inovações Tecnológicas nos Segmentos Agropecuário, Produção Animal e Agroindústria (Sistema Ambitec). Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 8 p. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica 5). Disponible en: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/>
- Kovach, J; Petzoldt, J; Tette, J. 1992. A method to measure the environmental impact of pesticides. *New York's Food and Life Sciences Bulletin* (139):1-8.

- Kovach, J; Petzoldt, C; Degni, J; Tette J. 2004. A Method to measure the environmental impact of pesticides. IPM Program, Cornell University, New York State Agricultural Experiment Station Geneva, New York. Consultado el 20 de diciembre 2016. Disponible en: <http://www.nysipm.cornell.edu/publications/eiq/>
- Nájjar, A. 2016. Los daños ocultos que provoca el aguacate, el Oro Verde de México. Consultado el 21 de diciembre, 2016. Disponible en <http://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-37581668>
- Ortíz, O; Pradel; W. 2009 Guía introductoria para la evaluación de impactos en programas de manejo integrado de plagas (MIP).
- Quintero, R. 1998. El cultivo del aguacate orgánico en México. III Foro Nacional sobre Agricultura Orgánica Guadalajara, Jalisco. México. Pp: 1223.
- Ramírez, F; Fournier, M.L; Clemens, R; Hidalgo, C. 2014. Uso de agroquímicos en el cultivo de la papa en Pacayas, Cartago, Costa Rica. *Agronomía mesoamericana*. 25 (2): 337-345.
- Rodrigues, G; Campanola, C; Kitamura, C. 2003. An environmental impact assessment system for agricultural R&D. *Environmental Impact Assessment Review*, New York, v.23, n.2, p.219-244.
- Rodrigues, G; Campanola, C; Kitamura, C; Irias, M; Rodrigues, I. 2005. Sistema de Avaliação de Impacto Social da Inovação Tecnológica Agropecuária (Ambitec-Social). Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 31 p. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 35). Disponible en: http://www.cnpma.embrapa.br/download/boletim_35.pdf
- Rodrigues, G; Buschinelli, C. de A; Avila, D. 2010. An environmental impact assessment system for agricultural research and development II: institutional learning experience at Embrapa. *Journal of Technology Management & Innovation*. v.5, n.4, p. 38-56.
- Ruiz, F.1998. La agricultura convencional fuente de contaminación del suelo y agua. III Foro Nacional sobre Agricultura Orgánica. Guadalajara, Jalisco. México. pp: 2530.
- Ruiz, F. 1999. Tópicos sobre agricultura orgánica. Consejo Nacional Regulador de Agricultura Orgánica. Universidad Autónoma de Chapingo. Pp: 260.
- Taipe, A; Barona, D; Colcha, E; Andrade, J; Forbes, G. 2008. Evaluación del impacto ambiental de tecnologías para la producción de papa en Ecuador. Consultado el 2 de diciembre, 2016. Disponible en: <http://nkxms1019hx1xmtstxk3k9sko.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Evaluacion%20del%20impacto%20ambiental.pdf>
- Torrellas, M; Anton, A; Moreno, J; Baeza, E; López, J. 2008. Estudio del impacto ambiental del cultivo del tomate en un invernadero multitúnel Consultado el 01 de enero 2017. Disponible en https://www.google.es/search?sourceid=navclient&aq=&oq=Estudio+del+impacto+ambiental+del+cultivo+del+tomate+en+un+invernadero+multit%3%banel+and+torrelas&hl=es&ie=UTF-8&rlz=-1T4RVEA_esCR607CR607&q=Estudio+del+impacto+ambiental+del+cultivo+del+tomate+en+un+invernadero+multit%3%banel+and+torrelas&gs_l=hp....0.0.0.6242.....0.65rqJWy8uK4
- Tubiello, F; Salvatore, M; Córdor Golec, D; Ferrara, A; Rossi, S; Biancalani, R; Federici, S; Jacobs, H; Flammini, A. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks: 1990-2011 Analysis.
- Vidales, A. 2007. Memorias del Curso de Plagas y enfermedades. FIRA. Morelos, México. pp: 10.





CONTÁCTENOS

**Unidad Coordinadora del PRIICA (UCP)
Instituto Interamericano de Cooperación para la
Agricultura (IICA)**

Sede Central. San José, Vásquez de Coronado,
San Isidro 11101-Costa Rica, América Central
Apartado 55-2200
Teléfonos: (506) 2216-0313 / 0320
Fax: (506) 2216-0233
Correo electrónico: infopriica@iica.int

**www.iica.int
www.priica.sictanet.org**