

IV Seminario Latinoamericano Sobre
Riego Por Goteo y Localizado

IICA-CIDIA

IICA
P12
30
V172

AGRICULTURA

CORPOOCCIDENTE - FONAIAP - FUDECO - IICA - MAC - MARNR - MRI - UCLA

MEMORIAS

Baquisimeto, Estado Lara, Venezuela

21 - 27 de Junio de 1981

15 6000

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES, ACUERDOS
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IV SEMINARIO LATINOAMERICANO DE RIEGO POR GOTEO Y RIEGO LOCALIZADO
JUNIO, 1981
BARQUISIMETO - VENEZUELA

CAPITULO 1
=====

Antecedentes de la preparación del IV Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo y Localizado	1.1
Acuerdos, Conclusiones y Recomendaciones	1.16
Lista de Participantes	

CAPITULO II

Microriego. Su desarrollo histórico y su aplicación en la agricultura	2.1
Papel de la fisiología vegetal en la Micro-irrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado	2.2
Riego por goteo. Principios y prácticas agrícolas	2.3
Perspectivas de los sistemas de riego a presión en la República Mexicana	2.4
Fertilización en el riego localizado	2.5
Situación actual de la agricultura del Japón y ejemplos sobre el desarrollo de riego	2.6
Estado actual del riego por goteo en los Estados Unidos	2.7
La filosofía del Desarrollo Regional	2.8

CAPITULO III

3.1	<u>Normas de calidad</u>	
	Tubos de Polietileno de mediana y baja densidad, Requisitos	3.1.1
	La normalización técnica nueva herramienta del desarrollo	3.1.20
3.2	<u>Diseño</u>	
	Normas y procedimientos generales para el diseño y evaluación de sistemas de riego por goteo	3.2.1
	Diseño de laterales para riego por goteo incluyendo las pérdidas causadas por los emisores	3.2.29
	Caracterización hidráulica de una tubería de polietileno negro de mediana densidad y 13mm de diámetro interno usada como tubería lateral en riego por goteo	3.2.58
	La temperatura de agua. Un factor de diseño en riego por goteo	3.2.88
	Estudio comparativo de diferentes métodos para determinar pérdidas de carga en tuberías de polietileno y polivinilo	3.2.98
	Relación entre las características del suelo y el consumo de agua por los cultivos, con el diseño hidráulico de los sistemas de riego por goteo	3.2.120
	Métodos de riego por destilación solar	3.2.145
	Diseño de sistemas de riego por goteo para experimentación	3.2.152
	Aplicación del riego por goteo en base a volúmenes de suelo explotado y coeficientes de la evaporación	3.2.166
	Análisis de características hidráulicas de materiales de riego por goteo utilizados en Venezuela	3.2.194
	Conservación de suelos y riego localizado en huertos de naranjos y limoneros en Uruguay	3.2.208

Problemática de manejo de la Micro-
irrigación

- Criterios de diseños de riego por goteo en cacao y palma africana. Análisis económico 3.3.1
- Demanda de agua y eficiencia de algunos cultivos agrícolas de importancia 3.3.16
- Manejo de irrigación por gotejamento en Chuchu e Pepino 3.3.84
- Una experiencia de Riego Localizado mediante la utilización de lagunas en la Península de Paraguaná 3.3.102
- Sistema "Xique - Xique" Irrigação Localizada 3.3.133
- Efeito de inigacao por gotejo no desenvolvimento vegetativo e producao de cultura de morango 3.3.153
- El sentido conservacionista con el aprovechamiento de la microirrigación 3.3.181
- Respuesta de la caña de azúcar a tres métodos de siembra y riego 3.3.203
- Riego por goteo en plantación de manzana en Valle medio del Rio Negro. Argentina 3.3.226
- Estudio de la eficiencia del riego por goteo 3.3.237
- Actualización de los conocimientos del método de subirrigación de suministro continuo de agua para plantas en potes 3.3.261
- Determinación del mejor sistema de riego:
por goteo o por surco aplicados al cultivo de la vid en zonas semiaridas del Estado Lara 3.3.292
- Análisis de los resultados experimentales de estudios comparativos entre riego por goteo y surcos 3.3.309
- Efeito da irrigacao por gotejo no desenvolvimento vegetativo e producao da cultura do morango 3.3.321 X

- Valorización agrotécnica de los huertos de frutales zonas semi-áridas del país y utilización de las arenas de los médanos de Coro en cultivo hidropónico 3.3.349
- Operación, conservación y evaluación hidráulica de sistemas de riego por goteo 3.3.361

3.4. Políticas Institucionales de Fomento al riego Localizado.

- El riego por goteo en Barbados 3.4.1
- Impacto socioeconómico del riego por goteo en México 3.4.32
- El riego por goteo en Nicaragua 3.4.51
- Riego y drenaje en la República de Panamá 3.4.64
- Riego en la República Dominicana 3.4.81
- Areas potencialmente regables por riego por goteo distrito Maracaibo y Mora, Edo. Zulia 3.4.95
- Continuación del documento "Riego y drenaje en la República de Panamá". 3.4.112
- El riego por goteo en Argentina 3.4.117
- Evaluación del riego por goteo en Colombia 3.4.125
- Contenido y alcance de una política nacional de riego 3.4.138
- Potencialidades de uso de riego localizado en zonas áridas y semi-áridas de la región Centro-Occidental 3.4.161
- Situación actual de irrigación por goteo en Brasil 3.4.184
- Historia del riego por goteo en México 3.4.198
- Políticas de fomento del uso de riego por goteo en el Estado de Baja California Sur, México 3.4.206
- Informe sobre el riego por goteo en el Perú 3.4.218

- Programas de formación académica profesional, capacitación técnica y actualización en irrigación 3.4.246
- Avances del riego por goteo en Chile 3.4.257

I. ANTECEDENTES DE LA PREPARACION Y ORGANIZACION DEL IV SEMINARIO LATINOAMERICANO
SOBRE RIEGO POR GOTEO Y RIEGO LOCALIZADO

La humanidad confronta un socio conflicto con la demanda creciente de agua para diversos usos, por el impacto demográfico y la disponibilidad limitada de ese recurso. El agua para la producción agrícola no escapa a esa situación general viéndose disminuída constantemente tanto en disponibilidad total como en la parte con calidad aceptable para la producción agrícola, sufre reducciones para atender otros usos competitivos y una presión constante por la necesidad cada día mayor de producir generos agrícolas, alimentos y materias primas.

La microirrigación ha demostrado ya sus ventajas fundamentales: ahorro de agua; incremento de producción en cantidad y calidad; apoyo al crecimiento de la frontera agrícola y constituye un gran medio educativo para el manejo racional de los recursos agua y suelo.

Conciente de estas realidades, el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura de la OEA, a través de su Programa de Conservación y Manejo de Tierras y Aguas y con el auspicio de los países miembros ha instituído la realización de eventos periódicos con la finalidad de:

- Incrementar el conocimiento de las ventajas, posibilidades y limitaciones de la microirrigación en los países de la región;
- Impulsar el perfeccionamiento de la fabricación, diseño, instalación y operación de los equipos de riego relativos, así como de los agroquímicos (fertilizantes, pesticidas, etc) susceptibles de aplicarse con el riego y también la maquinaria y equipos especiales para la producción agrícola con microirrigación.
- Identificar los factores limitantes que, en todos nuestros países, impiden el mayor conocimiento y la debida difusión y uso de la microirrigación, derivando de ese conocimiento las posibles alternativas de solución.
- Fomentar el conocimiento e intercambio de experiencias entre las instituciones y profesionales latinoamericanos con responsabilidad en el desarrollo agrícola con riego en sus países.

Ya se han realizado tres Seminarios Latinoamericanos sobre Riego por Goteo: El primero fue en Mendoza, Argentina en junio de 1975; el segundo se realizó en Toncón, México en junio de 1977 y el tercero tuvo lugar en Campinas, Brasil en octubre de 1979. En ese último evento se adjudicó a Venezuela la sede del siguiente seminario con el acuerdo expreso de ampliar su temática todo el riego localizado. Los acuerdos y recomendaciones mas importantes del tercer seminario han orientado la organización y temario fundamental del evento que estamos iniciando.

Modalidades de la Organización del IV Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo y Riego Localizado

Tomando en cuenta opiniones de diversas instituciones y personalidades, la delegación venezolana al tercer seminario y la Oficina del IICA en Venezuela, seleccionaron a Barquisimeto como sede por constituir el centro de una región agrícola muy importante con un desarrollo potencial promisorio en el que el riego tendrá una incidencia definitiva. Se realizaron reuniones a partir del 20 de mayo de 1980 intepándose el Comité Organizador local que estableció desde un principio la fecha del 21 al 27 de junio de 1981 para reestablecer la periodicidad que se había alterado.

El Comité Organizador, con ligeros ajustes, quedó integrado en la siguiente forma:

- Coordinadora Nacional: Carmen Bohórquez FONAIAP.
- Coordinador Internacional: Federico Novelo H. en representación del IICA
- Reinaldo Mujica y Marina de Contreras, representantes de FUDECO.
- Carlos Castro, representante de Corpooccidente.
- Omar Aponte, representante de la Escuela de Agronomía de la UCLA.
- Germán Hernández, representante de MAC-Riego, delegación Lara.
- Jesús Pérez Pérez, representante del MARNR, Zona III.
- Leonardo Salazar, en representación del CIARCO-FONAIAP.
- Ricardo Valderrama y José Elías López, en representanci3n del MRI.
Dirección de Desarrollo Regional.
- Eugenio Rojo, en representación de la SVIA, Seccional Lara.

Contando siempre con el apoyo de diversas instituciones venezolanas, en especial de la ciudad capital Barquisimeto, el Comité Organizador Local ha podido llevar a cabo su cometido, destacándose a continuación, los aspectos más sobresalientes del próximo evento:

- Lugar y facilidades. Los trabajos se realizaron en el Auditorio "Magdalena Seijas de López" del Instituto Universitario Pedagógico Experimental de Barquisimeto, donde se harán las plenarios de instalación y clausura y el panel sobre "El Avance Mundial de la Microirrigación". Las mesas de trabajo funcionarán en tres ó cuatro salones especiales del mismo IUPEB, en donde se tendrá apoyo secretarial, oficina de prensa, etc.
- Programa de Actividades técnicas. Esta importante parte del seminario tendrá dos componentes fundamentales que se describen a continuación:
 - Panel sobre "El avance mundial de la microirrigación". Con la participación de siete autoridades de muy alto nivel se presentará a los asistentes una información panorámica sobre los principales logros de la microirrigación en todo el mundo hasta la fecha. Los participantes son de Argentina, España, México, EE.UU, Israel y Japón.
 - Ponencias -en mesas de trabajo. El temario de ponencias comprende las siguientes áreas de discusión -técnicas y socioeconómicas- las que se tratarán en las mesas de trabajo correspondientes:
 1. Normas de calidad de equipos y agroquímicos. (Revisión de la normalización existente e identificación de la faltante para gestionar su complementación buscando mejorar la calidad de equipos, agroquímicos y accesorios.
 2. Diseño (Contempla la difusión de metodologías probadas que permitan asegurar un eficiente servicio de riego, con el aprovechamiento racional y conjunto de todos los factores.
 3. Problemática del manejo de la microirrigación. Destaca los principales factores que inciden en el manejo de aprovechamiento deficiente del riego en la producción agrícola.
 4. Políticas institucionales de fomento al riego localizado. Releva las acciones oficiales que apoyen el uso del riego localizado, en

especial por pequeños y medianos agricultores.

En este aspecto fundamental y a pesar de que la asistencia total no puede esperarse de la magnitud de la alcanzada en Brasil, el número de ponencias aportadas es considerablemente alto -del orden de 45- con la siguiente distribución: Mesa (temas 1 y 2): 12 ponencias; Mesa 2 (tema 3): 19 ponencias y Mesa 3 (tema 4): 15 ponencias.

- Programa de actividades culturales y recreativas

Para beneficio de los acompañantes de los participantes al IV Seminario se he preparado un intenso programa que cubre fundamentalmente los siguientes aspectos:

- 1.- Visitas a museos de la ciudad de Barquisimeto y Quíbor.
- 2.- Visitas a lugares de interés turístico y arquitectónico de la región.

Para recreación conjunta se han preparado espectáculos artísticos para presentar el rico acervo musical y artístico de la región. Se tendrá además una exposición de artesanía popular.

Se confía en que los resultados de las conferencias y de las ponencias y su discusión constituyan resultados beneficios para los países de nuestra región y que la estancia de los participantes y acompañantes sea placentera y grata.

Agradecimientos

No queremos terminar este breve reporte de los preparativos del IV Seminario, sin manifestar nuestro reconocimiento y profundo agradecimiento a las siguientes instituciones, por su importante apoyo tanto económico como de facilidades de todo índole, sin lo cual no hubiera sido posible este evento:

- Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental - FUDECO.
- Corporación de Desarrollo de la Región Centro Occidental - CORPOOCCIDENTE.
- Fondo Nacional para la Investigación Agropecuaria. FONAIAP - CIARCO.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables - MARNR
- Ministerio de Relaciones Interiores. Dirección de Desarrollo Regional MRI.
- Ministerio de Agricultura y Cría. M.A.C.

- Instituto Universitario Pedagógico Experimental de Barquisimeto. IUPEB.
- Universidad Centro Occidental "Lisandro Alvarado" (UCLA)
- Instituto de Crédito Agropecuario - ICAP.
- Fundación Polar.
- VENFERCA.

A pesar de la aparente repetición, debemos dar nuestro reconocimiento especial al equipo de reproducción de FUDECO cuya eficaz labor permitió entregar todo el material de trabajo del IV Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo y Riego Localizado a los participantes, antes de terminarse este evento.

IV SEMINARIO LATINOAMERICANO DE RIEGO POR GOTEO Y LOCALIZADO

MESAS DE TRABAJO 1 y 2: " NORMAS DE CALIDAD Y DISEÑO"

INFORME DE LAS MESAS CON CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- CONCLUSIONES.-

- 1) Que se han repetido objetivos en los trabajos realizados, originando esto, por la falta de disponibilidad de la información existente.
- 2) Que no hay difusión latinoamericana de la información sobre riego por goteo y localizado.
- 3) Que se necesita aplicar la tecnología de normalización en la producción de los componentes de los sistemas de riego.
- 4) Que se deben normar los criterios de diseño de los sistemas de riego.
- 5) Que son confiables los coeficientes de las formas obtenidas en los estudios hidráulicos presentados.
- 6) Que no se presentaron trabajos de funcionamiento hidráulico de componentes de cabezales de control.

RECOMENDACIONES:

- 1) Crear un Banco de Información Internacional de Riego por Goteo y Localizado. Iniciallo con las memorias de los eventos mundiales, latinoamericanos, nacionales, etc., Un organismo como el I.I.C.A. puede promoverlo.
- 2) Que se proponga a las instituciones relacionadas con la nor-

malización en los países latinoamericanos, que se trabaje ~~sobre~~ los componentes de los sistemas de riego por goteo para que garanticen su durabilidad y su funcionamiento hidráulico. Que el I.I.C.A. promueva ante los gobiernos la cooperación de esta normalización.

- 3) Que se definan las especificaciones de proyecto que garanticen el funcionamiento eficiente de los sistemas de riego por goteo y localizado.
- 4) Que se apliquen los resultados de los estudios de hidráulica presentados en el Seminario.
- 5) Que en el próximo Seminario se promueva la presentación de estudios hidráulicos sobre cabezales de control y sus componentes.

IV SEMINARIO LATINOAMERICANO DE RIEGO POR GOTEO Y LOCALIZADO

MESA DE TRABAJO Nº 3: "PROBLEMATICA DEL MANEJO DEL RIEGO LOCALIZADO".-

INFORME DE LA MESA Nº 3: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.-

A.- INTRODUCCION Y DESARROLLO INICIAL DEL RIEGO LOCALIZADO.-

- A.1. La instalación de sistemas de riego localizado sólo está justificada si el nivel del agricultor ~~esta~~ ^{es} suficientemente elevado para manejarlos correctamente y si ~~está~~ ^{tiene} acceso a servicios de mantenimiento y asesoramiento técnico competentes.
- A.2. Es deseable un control y vigilancia muy estrictas de la ejecución y funcionamiento de las primeras instalaciones que se realicen en una zona cuyo éxito es clave para la difusión de la nueva tecnología.
- A.3. Se recomienda coordinar los esfuerzos de los organismos estatales y los de las casas comerciales para asegurar el éxito de la introducción de los nuevos sistemas.
- A.4. No se debería gravar fiscalmente la introducción de nuevos equipos de riego siempre y cuando existan acuerdos y compromisos para mantener y fabricar en un plazo razonable dichos sistemas localmente.

B.- ASPECTOS IMPORTANTES DEL MANEJO DEL RIEGO LOCALIZADO.-

- B.1. La introducción de la nueva tecnología de riego conlleva necesariamente la implementación de un paquete tecnológico completo que permita a los agricultores obtener el máximo rendimiento de dichos métodos.

que afecten a la utilización y futuro desarrollo de dichos sistemas. A tal efecto, antes de acometer a estos trabajos deben investigarse los problemas potenciales y establecerse un orden de prioridades en función de su importancia.

- C.2. El riego localizado ya ha sido introducido en los Seminarios organizados por I.I.C.A. Se consideran deseable que dichos Seminarios se integren en reuniones que consideren la problemática general del riego y del drenaje en Latinoamérica.
- C.3. Se recomienda que se reediten los trabajos de los Seminarios anteriores y que se pongan a disposición de los profesionales y bibliotecas que los soliciten.
- C.4. Se debe dar a conocer a los genetistas agrícolas el potencial que ofrece la nueva tecnología del riego localizado al objeto de que se produzcan nuevas variedades que aprovechen al máximo las posibilidades de dicha tecnología.
- C.5. Es necesario mejorar sustancialmente los servicios de extensión y capacitación agrícola en el área del riego localizado.
- C.6. Antes de considerar la implantación del riego localizado en un sistema agrícola determinado, debe considerarse si el agua es el factor limitante de la producción agrícola y estudiar todas las alternativas posibles en cuanto a métodos de riego, sin restringirse al riego localizado.

C.7. Sería deseable que se crearan comisiones para que con posterioridad a la celebración de los Seminarios, celebrasen reuniones periódicas para el análisis y resumen de las comunicaciones presentadas y redacción de normas de interés general.

D. CONCLUSION:

D.1. El objetivo de toda nueva tecnología deber ser maximizar los ingresos netos del agricultor. Por consiguiente, el riesgo - localizado tendrá éxito en latinoamérica en tanto y en cuanto el primer beneficiario sea el agricultor.

MESA:

L. Nijenshon	-	Argentina
F. Ferera	-	España
M. Valbuena	-	Venezuela

PARTICIPANTES:

L. Willardson	-	U.S.A.
C. Bohorquez	-	Venezuela
B. Gornat	-	Israel
Barrios	-	I.I.C.A.
Leal	-	México
Olitta	-	Brasil
J. Tosso	-	Chile

IV SEMINARIO LATINOAMERICANO DE RIEGO POR GOTEO Y LOCALIZADO

ACUERDOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. ACUERDOS

Los participantes en el IV Seminario Latinoamericano sobre riego por Goteo y Riego Localizado, acuerdan:

1. Dejar constancia que el Seminario ha logrado un avance sustancial en el cumplimiento de los objetivos principales de estos eventos.
2. Testimoniar su reconocimiento al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura de la OEA, por el cumplimiento de la recomendación que se le formulará en el III Seminario sobre la organización y realización del IV Seminario.
3. Manifiestar su reconocimiento al Gobierno de la República de Venezuela por el decidido apoyo y colaboración brindado a la organización y desarrollo del certamen.
4. Extender también dicho reconocimiento a CORPOCCIDENTE, FONAIAP, FUDECQ, IUPÉB, MAC, MARNR, MRI, UCLA y al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, que estuvieron a cargo de la organización y realización del evento.
5. Congratular y agradecer a los técnicos latinoamericanos y del Caribe y de otros países del mundo que con sus conferencias, ponencias e intervenciones contribuyeron a la feliz culminación del Seminario.

II. CONCLUSIONES

Los participantes en el Seminario, con apoyo en las exposiciones y debates, concluyen:

1. Que falta difusión a nivel regional de la información disponible sobre riego localizado, carencia que se evidenció con la repetición de algunos trabajos.
2. Que nuestros países requieren -para beneficio de los campesinos- impulsar el perfeccionamiento de: la fabricación, diseño, instalación y operación de los equipos de riego localizado, así como de los agroquímicos susceptibles de aplicarse mediante el riego, además de la maqui-

8. Aún cuando no se conocen con exactitud las necesidades hídricas de los cultivos bajo riego localizado, ya se dispone de información suficiente para establecer puntos de partida razonables para el manejo adecuado si paralelamente se observa el estado de humedad del suelo.
9. Que conviene crear comisiones de los países para que, entre seminarios, celebrar reuniones periódicas para un mayor análisis y resumen de los trabajos presentados y redactar normas de interés general.
10. Que es necesario que en el lapso comprendido entre seminario se establezca el seguimiento de los acuerdos y recomendaciones establecidas.
11. Que se requiere definir oportunamente para los efectos de su debida preparación, la Sede del V Seminario de Riego Localizado, cuyo nombre debe cambiarse a interamericano.

I RECOMENDACIONES

De acuerdo con lo anterior, los participantes al IV Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo y Riego Localizado encomiendan al Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura -en su caracter de creador, promotor y co-organizador permanente de estos eventos- que a través de su Programa de Tierras y Aguas y por medio de sus oficinas en los países y demás recursos, haga ante los gobiernos de los países miembros las gestiones conducentes para dar cabal cumplimiento a las siguientes recomendaciones:

1. Crear un banco de información internacional sobre riego localizado, que podría iniciarse con las memorias de los eventos mundiales, internacionales, latinoamericanos, nacionales, etc. Para apoyar esta idea se instituirá la presentación dentro de los paneles informativos sobre "El avance de la microirrigación a nivel mundial" de los avances específicos sobre la materia de los países miembros en cada uno de los seminarios siguientes, a partir del próximo.
2. Que las instituciones de la región relacionadas con la normalización trabajen sobre los componentes de los sistemas de riego localizado y sobre su conjunto, para que se determine y garantice su duración y la eficiencia de su funcionamiento hidráulico. Esta acción deberá exten-

derse a los agroquímicos y a la maquinaria y equipo agrícola específico. Deberá promoverse la coordinación entre los organismos involucrados de los distintos países.

3. Que se establezcan normas para la elaboración de proyectos de los sistemas de riego localizado que incluyan el criterio agronómico basado en las características de suelo, agua, clima y cultivo y por otra parte adaptadas a éstas, las características hidráulicas y geométricas de los componentes de los sistemas de riego. Deberá preverse el diseño de un paquete tecnológico completo cuya implementación gradual esté debidamente programada y que al integrarse totalmente garantice el máximo rendimiento en beneficio de los productores.
4. Que se intensifiquen los esfuerzos institucionales hasta ahora realizados en la comprobación tecnológica y la adaptabilidad del riego localizado a las condiciones naturales de regiones específicas que tengan potencial de desarrollo agrícola bajo esta modalidad de riego.
5. Que se fomente la investigación socioeconómico que permita conocer el impacto de la utilización de estas nuevas técnicas de riego. Se recomienda asimismo revisar las ventajas de su utilización en forma asociativa, con ahorros sustanciales en infraestructura y costos a distribuir.
6. Que se fomente la formación, capacitación y actualización académica de los profesionales y técnicos involucrados en la producción agrícola con riego localizado así como la capacitación y adiestramiento de los productores. Se recomienda para ello incrementar el intercambio de experiencias entre países y la utilización de las facilidades académicas que ofrecen algunos de ellos, así como los instrumentos financieros establecidos por organismos internacionales de crédito de que forman parte nuestros países.
7. Que se fortalezcan los servicios de apoyo a la producción apropiadas a la realidad socioeconómica de las regiones agrícolas más deprimidas. Se deberá dar atención especial al servicio de extensión en riego localizado así como a la disponibilidad adecuada y suficiente de líneas de

crédito a mediano plazo para que los agricultores puedan realizar las inversiones necesarias para la utilización de nuevas técnicas de beneficio probado.

8. Que se de a conocer especialmente a los genetistas agrícolas el potencial que ofrece la novedosa tecnología del riego localizado con la finalidad que se produzcan nuevas variedades que aprovechen al máximo las posibilidades de esta tecnología.
9. Que se establezcan normas que autorizen la venta e instalación de equipos de riego localizado, así como una estricta supervisión oficial sobre los mismos, cuyo servicio eficiente es clave fundamental para el beneficio del agricultor y coadyuva a la difusión positiva de esta nueva tecnología.
10. Que dentro de la problemática del uso y manejo del agua para la agricultura, se ubiquen las nuevas técnicas de riego como el localizado, - que debe considerarse como una de las alternativas tecnológicas más recomendables a ser empleadas ampliamente en nuestra región, por la optimización que se hace del recurso agua.
11. Que se active la definición por parte de los gobiernos involucrados para establecer la sede de V Seminario, para cuyo sitio se ha manifestado interés de manera informal por algunos delegados como es el caso de Chile y Barbado.
12. Que se apoye la propuesta de que el nombre de los siguientes seminarios a partir del V, se modifique para que corresponda al ámbito propio del IICA, quedando como interamericano en lugar de latinoamericano, incluyendo así a todo los países miembros.
13. Que una vez establecida la sede se tome toda las previsiones necesarias por parte del IICA para apoyar solida y permanentemente a través de la oficina del país sede, de la coordinación del programa de tierras y aguas y de todas sus demás oficinas y sede central, la mejor preparación y difusión del V Seminario Interamericano sobre Riego Localizado.

ADENDUM

RECOMENDACIONES ADICIONALES DE LA PLENARIA TECNICA FINAL UNA VEZ INFORMADOS LOS ASISTENTES SOBRE LAS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LAS MESAS DE TRABAJO Y SOBRE EL DOCUMENTO GENERAL REFERENTE A ACUERDOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES QUE FUERON APROBADOS EN SU TOTALIDAD, SE FORMULARON ADEMAS LAS SIGUIENTES RECOMENDACIONES ADICIONALES.

INCLUIR EN EL PUNTO II.2 LO SIGUIENTE:

Instalación, operación, mantenimiento y servicios de los distribuidores de los equipos de riego localizado.

INCLUIR EN EL PUNTO III.3. LO SIGUIENTE:

14. EL IICA, Seleccione, resuma y edite los mejores trabajos presentados en los 4 Seminarios realizados y los ponga a la disposición de todas las instituciones de la Región.
15. Se propuso la reactivación de las Conferencias Interamericana de Riego y Drenaje que habían venido celebrándose en el Continente y que dentro de ellas se incluyese un Capítulo o Sección especial sobre el Riego por Goteo y Localizado.
16. Se propuso también que se continuase celebrando los Seminarios de Riego por Goteo, por ser esto un área especializada que está en proceso de perfeccionamiento y que requiere una gran concentración de esfuerzo.
17. Las dos proposiciones anteriores fueron acogidas y aprobadas por aclamación, unánime, habiendo indicado el representante de la Dirección General de IICA, que tratarían - en lo posible de darle cumplimiento a la misma.
18. Que todas las acciones del Sector Público y Privado relacionado con la promoción y fomento del Riego por Goteo se encaminen a reducir los costos de los equipos y del mantenimiento de los mismos, para lograr una máxima difusión de esa tecnología y mejores rendimientos para el agricultor.

PARTICIPANTES'

=====

ARGENTINA

- Jorge Chambouleuvow.
Avda. España -14 R5. 4to. piso
- León Nygensohn ✓
Universidad Nacional de Cuzo
Facultad Ciencias Agrarias
Chacras de Coria - Mendoza
Argentina.
- Juan José Delillo
Instituto de Tecnología Agropecuaria
Casilla Correo 88 - Folew - Chubut
Argentina.

BARBADOS

- David Groveg
Ministry Of. Agriculture, Graeme
Haer Chaistechuach. Barbados.
- Victor Ojeda
IICA. P.O. BOX 705 C. Briagetown
Barbados.

BRASIL

- Demetrios Chaistofidis
Ministerio Do Intesior Esplanadas
Dos Ministerios. Sala 433
Brasilia. D.F. Brasil.
- Antoni● Fernando● L. Olitta.
Esc. Sup. Agric. Luis de Aneivoz - U.S.P.
Avda. Padua Dias, s/n. Piraxicaba
S.P. Brasil.
- Carlos Alberto Da Silva Oliveira
E.M.B.R.A.P.A. - C.N.P. Hortalias Km.9
Da Rodovia. Brasilia - Anapolis
Brasilia D.F.

BOLIVIA

- José Ortíz Castilla
Ministerio de A.A.C.C. y Agropecuarios
Avda. Camacho. La Paz

C O S T A R I C A

- Manuel C. Rodriguez Zapata
I.I.C.A. San Isidro de Covanolo
Casilla Correo 55
- Agustin Merea
I.I.C.A. - O.E.A. Apartado 55
Coronado. Prov. de San José
Costa Rica.
- Jorge Luis Valerio Sandoval
Dpto. de Riego y Arenamiento
S.N.E. - Servicio Nacional de Electricidad
Calle 40, Avenida Central y Primera
San José - Costa Rica.
- Enrique Blair Falbaes
Instituto Interamericano para la
Agricultura
Apartado No. 55, Coronado San José
Costa Rica.

C O L O M B I A

- Orlando Benavides Benavides
Granja I.C.A. Motilonia - Apartado Aéreo
021 - Codazzi César.

C H I L E

- Juan Toso Torres
Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
Fidel Otuza 1956 . Piso 12
Santiago de Chile.

E S P A Ñ A

Elías Fereres Castill ✓
Universidad de Cordova .
España

G U A T E M A L A

Roberto Izaguirre Tejeda
Ministerio de Agricultura de Guatemala
Dirección de Recursos Naturales Renovables
Zona 13
Guatemala.

H A I T I

- Bury Robert Isran
Office ODU. Pont Soude St Marc
Haiti (W.I.).

H O N D U R A S

- Roberto Rivera L.
Ministerio de Recursos Naturales
Dirección de Recursos Hídricos
Boulevard Centro América

I S R A É L

- Baruch Gornat ✓
Gornat Investigación y Desarrollo
16. Hatlamin ST. Ramat - Hasharon
Israel.

J A P O N

- Yoshiaki Otsubo
Ministerio de Agricultura
Silvicultura y Pesca Gobierno de Japón
1-2-2- Sannomara, Naka - Km.
Nagoya, Japón

M E X I C O

- Carlos Efren Ramirez Contreras
Apartado Postal No. 41 C.D. Serda
- Efren Peña Peña
Universidad Autonoma de Chapingo
- Jorge L. Sepulveda Betancourt
Ignacio Ramires 571
- Lorenzo J. Maldonado A.
A.P. 150 Saltillo, C.C.A.H.
- Francisco Raúl Hernández Saucedo
Universidad Autónoma Chapingo - Dpto.
de Irrigación Chapingo
- ✓ - Hermes Noyola Isqleas
Universidad Autonoma Chapingo
Dpto. de Irrigación, Apartado No. 198

- Enrique Cervantes Moreno
Universidad Autonoma, Chapingo
- Alfonso Ramirez Lavin
Reforma No. 69-7
Mexico 1. d.f.
- Jaime Leal Díaz
Avda. Revolución, Col, Coutry
Monterrey, N.L.
- Antulio Piña Davalos
Plaza de la República No. 31-1
- Rogelio C. Posadas del Río
Universidad Chapingo - México

N I C A R A G U A

- Luis Manuel Orozco Lacayo
M.I.N.D.I.R.A. - M.G.A. - N.I.C. de la
Shell Linda Vista, calle Sur
Managua.

P A N A M A

- José del Carmen Echevens Alvarez
Ministerio de Desarrollo Agropecuario
Santiago, Prov. de Veraguas

P E R U

- Bina Ramirez Meza
Ministerio de Agricultura del Perú
Washington 1844 Oficina 1104
Lima Perú

R E P. D O M I N I C A N A

- Amable R. Davinson D.
Universidad Autonomade Santo Domingo
Lovaton 4, A.P. 6. Santo Domingo
- José Pérez Hernández
Francisco Bido No. 78
Santiago de los Caballeros

U R U G U A Y

- Avelino M. Casas Folgar
Avda. Uruguay 823 Montevideo
- José Barrios
I.I.C.A. Calle 33 No. 1374 5to. PISO
Montevideo.

E S T A D O S U N I D O S

- John M. Langa
1588 N. Masshall. El Cajón Ca. 92022
- Ricardo Vargas Del Valle
801 - 17ta. N.W., Wasghinton, D.C.
- Lanvy Stank
Ris Sarigation Systems, P.O. BOX
El Cajón Ca. 92022
- Lyman S. Willardson
Dept. Agr. Ing. Utah
State Univer- Logan VT. 84322

V E N E Z U E L A

- Cruz Rafael Irada
Estación de Ferrocarril.
Zona Industrial 1- Barquisimeto
- Ingrid Mollejas de Padrón
Final de la Avda. Las Lagrimas
Colegio San Vicente de Paúl
Acarigua.
- Manuel M. Alvarez Torres
M.A.C. Riego Sub-Proyecto Guanare
Tierra Buena
Acarigua.
- José Salazar
Avda. Vargas - Hotel Avenida Hab. 20
con calle 21
Barquisimeto
- Luis J. Roman
I.A.N. Yaritagua, Avda. Principal
Antiguo Hospital - Yaritagua
- William A. Gutierrez
Avda. Montevideo. Vía Agua viva
Oficina Carora - Riera Oropeza

- Freddy R. Rodriguez
Carrera 25 No. 51-30
Barquisimeto.
- Reinaldo Mujica Tovar
Fudeco Avda. Libertador
Barquisimeto.
- Jesús Pérez Pérez
M.A.R.N.R. Zona 3 - Avda. Intercomunal
Barquisimeto-Cabudare.
Sector Cabudare Barquisimeto.
- Rebeca I. de Bohorquez
M.A.C. Riego
Carrera 12 entre calles 62 y Avda. Rotaria
Barquisimeto.
- Carlos A. Colmenarez Castillo
M.A.C. Riego
Calle 12 entre Calles 62 y
Avda. Rotaria - Barquisimeto
- Hector Hernandez Alvarez
Calle 19 No. 19 - 55
Barquisimeto.
- Juan M. Orosco R.
Fondo de Desarrollo Frutícola
Calle 34 entre 17 y 18
Barquisimeto.
- Gerardo Aguera
FONAIAP El Cují - Carrera Duaca
Km.7 El Cují - Estado Lara.
- Roberto Villafañe
U.C.L.A. - Obelisco
Escuela de Agronomía
Barquisimeto.
-
- Marina Abreu de Contreras
Avda. Libertador, frente al Complejo
Ferial - FUDECO
Barquisimeto.
- Carmen Bohorquez
FONAIAP - Estación Experimental El Cují
KM., 7 Vía Barquisimeto Apto. 592
Barquisimeto.

- Victor Pongo
Agrícola Pastoreña - Apartado 27
Carora Estado Lara.
- Maximo A. Flores Escalona
I.U.P.E.P. Edificio Este Final Avda. Vargas
Barquisimeto.
- Omar Gutierrez M.
Carrera 19 c.c. 26 y 27 Edificio Arca
6 Apartado 5-E
Barquisimeto
- Luis Pastor Dominguez
M.A.C. Dirección de Riego
Proyecto de Riego Lara
Carrera 12 entre 62 y Rotaria
Quinta Mama Vieja
Barquisimeto.
- Rafael Benitez Ledezma
Avda. Sicarigua Apartado 25
Carora.
- Antonio José Gutierrez
Calle 27 entre 14 y 15
Barquisimeto
- Candida A. Rodriguez
Carrera 12 entre calles 62 y Avenida
Rotaria - Quinta Mama Vieja
Barquisimeto.
- Nemesia Reyes Romero
M.A.C. Riego
Araure - Portuguesa
- Freddy Antonio Suárez
Centro de Inversionistas
del Norte -
- Federico Branger B.
Centro de Inversionistas del Norte.
- Noel Pérez
Centro de Inversionistas del Norte.
- Arnaldo Gorrin H.
U.C.L.A. - Escuela de Agronomia
Obelisco - Barquisimeto

- German Hernandez W.
M.A.C. Riego
Carrera 12 entre Calle 62
y Avda. Rotaria
Quinta Mama Vieja
Barquisimeto.
- Omar J. Lopez O.
M.A.C. Dirección General de Riego
Carrera 12 entre 62 y Avda. Rotaria
Quinta Mama Vieja
Barquisimeto.
- Luis Garcia Gutierrez
Fondo de Crédito Agropecuario
Carrera 19 con calles 21 y 22
Barquisimeto.
- Rafael Arrieché Gutiérrez
Conare - Nirgua. Vivero Central
Cabuy - Nirgua - Baracuz
- Alí Diaz Peña
Estación Experimental El Cují
C.I.A.R.C.O.
Barquisimeto
- Cecilio Riera Briceño
FUDECO Avda. Libertador, frente al
complejo ferial
Barquisimeto.
- Manuel Gonzalez M.
Calle Portugal s/n. Qta. Jeanette
c/c Valera - Carora
- Jesús E. Berti Morales
M.A.C. Riego - Coordinación de Riego
Zulia - Edificio Ciarzu Km 7
Carretera A. Desvios
- Gilberto a Gutierrez
Central La Pastora Avda. Rotaria
Fuerzas Armadas No. 62 C-34
Barquisimeto.
- Domingo A. Rodriguez M.
I.U.P.E.B. - Oeste - Barquisimeto Calle 64
Los Horcones

- Haydee Coromoto S.
Carrera 21 entre calles 14 y 15
No. 14-66
Barquisimeto.
- Belkis E. Moreno Sevilla
Carrera 17 entre calles 26 y 27
No. 26-19
Barquisimeto.
- Ezequiel A. Chavez Parada
Calle 25 No. 13-10
Barquisimeto.
- Tineo Garcia
Carrera 29 entre calles 37 y 38
No. 37-74
Barquisimeto
- Urbano S. Mendoza A.
Carrera 27 No. 37-51
Barquisimeto.
- Auxiles Peraza
Calle 7 No. 13-62
Yaritagua
- Freddy Tomas Ortíz
Carrera 7 con calle 8 No. 63
Yaritagua
- Yunior R. Martinez O.
Avda. 2 No. 5 - 12 San Felipe
- Reinaldo R. Rodriguez G.
Politécnica
- Francisco J. Hernandez Daza
Politecnica
- Nicolas R. Betancourt Ortiz
Carrera 24 Esquina Calle 52 No. 51-102
Barquisimeto.
- Antonio J. Escobar Mora
Calle 10 No. 5 Baravida Nva.
Barquisimeto.
- Valmore Alberto Silva M.
Avda. 13A entre calle 50 y 51 No. 50-63
Barquisimeto

- Manuel S. Tirado S.
Calle 39 No. 26-73
Barquisimeto.
- Egle de Perez Orioza
Carrera 18 entre calle 8 y Avenida
Moran Residencia Claret Apto. 3-5
Barquisimeto.
- Carlos Lozada
Carrera 19 No. 15-34
Barquisimeto.
- Coromoto del C. Briceño
Carrera 11 No. 59-75
Barquisimeto.
- Eduardo Delgado
Carrera 18 entre calles 8 y Avda.
Moran, Res. Claret Apto. 3-5
Barquisimeto.
- Domingo G. Cañizalez
Urb. del Este Carrera 8 con calle
4 No. 4-13
Barquisimeto.
- Alfredo Hernandez
Calle Antonio Ramires - Santa Rosa
Barquisimeto.
- Eggilda Benavides Garcia
Carrera 23 No. 10-72 entre calles 10
y 11 - Barquisimeto.
- Laura Melendez R.
Avda. Lara Edif. O.A.I.S.U.
Apartamento No. 4 - 3er Piso
Barquisimeto
- Freddy Orlando Rojas Vela
Carrera 21 No. 81 - 93
Barquisimeto.
- Manuel A. Freitez b.
Calle 48 No. 13-140 entre 13 B y 13 C
Barquisimeto.
- Jabal Antonio Morales Romero
Urb. Sucre - Bloque 26 5to. piso
No. 05-08
Barquisimeto.

- Marcos R. Gomez
Carrera 14 con calles 17 y 18 No. 17-40
Barquisimeto.
- Fernando Gomez Urdaneta
Urb. el Pinal Qta. Fany
Barquisimeto.
- Alberto Cassasa
Kilometros 18 de la carretera Perijá
500 mts. antes del Autodromo
Maracaibo.
- Maximiana Valbuena
Avda. 16 Esquina Calle 67
Apto. 526
Maracaibo.
- Jesús Elí B. Morales
M.A.C. Coordinación de Riego Zulia
Edificio C.I.A.R.Z.U.
Km 7 Carretera a Perija
Maracaibo.
- Edgar O. Lara G.
Edificio C.I.A.R.Z.U. Km. 7
Carretera a Perijá
Maracaibo.
- José Araujo Torres
C.A. Cigarrera Bigott Vía San Diego
Valencia.
- Cesar Guerive Gamboa
C.A. Cigarrera Bigott Vía San Diego
Valencia.
- Lionel E. Donatti Benitez
Vía Aeropuerto Edificio Multifrutas
Fondo de Desarrollo Frutícola
San Felipe.
- Hugo Ugueto
M.A.C. Sistema de Riego el Faz
Cúa - Estado Miranda.
- Alfredo Ruiz Lirralde
I.N. Parques - Distribuidor Sta. Cecilia
- Ivonne G. de Mauro
M.A.C. Riego - Proyecto de Riego Carabobo
Edif. M.A.C. - Valencia.

- Marcos S. Cañizalez
Corpoandes
Trujillo.
- Francisco Calderon
Edificio Corpoandes Escuque
- Victor V. Vivas Sanchez
Avda. Universidad Edificio CORPOANDES
Escuque
- José H. Ramirez Niño
Carrera 4 - Local Antiguo Parque
Exposición Táriba
- Gonzalo Arellano P.
Campaña Nacional de Reforestación
Apartado 093 Valera.
- Clemente Vilarde M.
Vivero Agua de Obispo
Montalban, Edo. Carabobo
- Santiago Toviaş
Bloque 11 Apartado 004
San Cristobal.
- Isabel C. Quintero Ramirez
U.N.E.T.
San Cristóbal
- Jesús Rodriguez Gomez
Central Santa Maria - Santa
Barbara
Estado Monagas
- Pedro Silva Guillen
CENAZUCAR- Centrales Santa María-
Ribera Raúl Leoni M.A.C.
Maturín
- Juan de Dios Hernandez P.
CONARE - Chaguaramas Sur de
Monagas
- Hector Luis Zunica
Escuela de Ingenieros Agronomos
Monagas
- Angel G. Lopez Machado
I.A.N. Delegación Agraria Edo.
Monagas.

- Juan C. O hep.
FONAIAP - Apartado 184
Maturín
- Emilio Parilla
Fondo de Desarrollo Frutícola
El Tigre
- Francisco Hernandez
CORPOORIENTE Avda. Intercomunal
El Tigre - El Tigrito - Asopra
El Tigre.
- Jesús Paraquina
FONAIAP - Estación Experimental
Guanipa Apartado 212
El Tigre.
- Daniel Savaldi
I.A.N. Región Nor-Oriental Zona
Industrial Los Montones
El Tigre.
- Armando Rios
Instituto Universitario de Tecnologia
El Tigre.
- José Manuel Charles
Calle Giraldot No. 76
El Tigre.
- Luisa de Silva
FONAIAP - Ciarno - Estación Exp.
Guanipa - El Tigre
- José Arrioga
C.A. Cigarrera Bigott - Vía San Diego
Valencia.
- Alejandro Martínez Hernandez
M.A.C. - Coordinación de Los Llanos
Orientales.
El Tigre.
- Nelson L. Marcano C.
I.A.N. - Región Nor-Oriental - Zona
Industrial Los Montones.
- Gustavo Mundaray Parejo
Fondo de Crédito Agropecuario
Avda. Francisco de Miranda
Edificio El Coloso Local No. 04

- Fabricio C. Andrade Castillo
Central Portuguesa Vía Payara
Acarigua.
- Gladys Chirinos
Calle 49 entre carreras 27 y 28 No. 27-41
Barquisimeto.
- Mario Ramón Flores
Carrera 15 entre calles 17 y 18 No. 9
Yaritagua.
- Efrain Riera P.
Edificio Este, Prolongación Avda.
Vargas - Barquisimeto.
- Adolfo José Martini
Avda. Raúl Leoni
M.A.C. - Maturín
- Gustavo Hidalgo M.
Calle 3 entre Carreras 10 y 11
Calabozo
- Tulio Burgos P.
Parcela 6 Carretera A
Calabozo.
- Orlando Pérez López
M.A.C. Riego - Jefatura Proyecto
Aragua - Sta. Cruz de Aragua
Maracay
- Samuel J. Strevin
M.A.R.N.R. Apartado 202
Maracay
- José Sykora
Sociedad Conservacionista de Aragua
Caña de Azúcar Vereda 6 Sector "Z"
Maracay.
- José Elías López
Ministerio de Relaciones Interiores
Desarrollo Regional
Avda. Urdaneta - Esquina de Carmelitas
Caracas.

- Juan Carlos Rossi
Proyecto - Riego Avda. Sur 3 Qta. Zen
Urbanización El Placer
Caracas.
- Ricardo Valderrama Silva
Ministerio de Relaciones Interiores
Dirección de Desarrollo Regional
Avda. Urdaneta - Esq. Carmelitas
Caracas.
- Atilano Azuaje
M.A.R. Dirección General de Riego
Torre Norte Piso 10 C.S.B.
Caracas.
- Eric S. Rodríguez A.
M.A.C. Dirección General de Riego
Torre Norte Piso 10 C.S.B.
Caracas.
- Gerardo Cuevas
COVENIN - Avda. Boyacá
(Cota mil) Edificio La Salle 5to. Piso
Caracas.
- Roberto Naldi
M.A.C. Misión Permanente Italiana
Piso 10 Torre Norte
El Silencio - Caracas.
- Benardo Samuel Lira
M.A.C. Torre Norte Piso 13
Caracas.
- Miguel Angel Hernández Ocanto
Ministerio de Relaciones Interiores
Dirección General Sectorial para el
Desarrollo Regional
Esq. Carmelitas - Caracas
- Martín Aquiles Montes de Oca
Venezolana de Fertilizantes
Avda. Principal de Macaracuay
Edificio INDULAC 3er. Piso
Macaracuay

- Federico Novelo Hernández
IICA - Centro Villasmil, Oficina 1102
Caracas.
- María Cristina Caballero
Fondo de Crédito Agropecuario
Salvador de León a Socarráz
Edificio F.C.A. - Caracas.
- Clemens Metzner
Grupo Covenal C.A./ Avipla
Torre Phelps, Plaza Venezuela
Caracas.
- Freddy J. Castillo
Fundación CIARA
San Martín Urb. Los Molinos
2da. Transversal Caracas.
- Lucas Enrique Palacios
Torre Norte. Piso 10 C.S.B.
Dirección General de Riego
Desarrollo Agronomico
Caracas.
- José R. Carrazco
I.A.N. La Quebradita - Vista Alegre
Caracas.
- Aixe Núñez Guerrero
Urbanización La Hacienda
Carrera 5 No. 247
Barquisimeto.
- German Godoy
TUPLA - Plaza Venezuela Torre Phelps
2do. Piso - Caracas.
- Luis Rendon Vethencouath
I.A.N. Región Capital - Guatire
- Wylían R. Otero
IICA Centro Villasmil Piso 11
Caracas.
- José Quintana
M.A.C. Piso 13 Oficina 4 Torre Norte
Caracas.

- Alexis J. Aular Pelayo
M.A.C. Dirección General de Riego
Avda. Los Médanos Qta. Cyleni
No. 25 - Coro - Falcón
- Alvaro Garcia
M.A.C. Dirección General de Riego
Avda. Los Medanos Qta. Cyleni
No. 25 Coro, Falcón.
- Daniel Enrique Canonica Orta
Avda. Alberto Ravell c/Avda.
General Páez
San Felipe
- Carlos José Lucena Escalona
Avda. Alberto Ravell c/Avda.
General Páez - San Felipe
- Zaida Alvarez de Camacho
Ministerio de Relaciones Interiores
Desarrollo Regional
Avda. Urdaneta - Esq. Carmelitas
Caracas.
- Jesús Morales G.
C.A. Cigarrera Bigott - Vía San Diego
Valencia
- Gladys Granados
UNET Paramillo
San Cristóbal

2. CONFERENCIAS ESPECIALES

M I C R O R R I E G O:

SU DESARROLLO HISTORICO Y SU APLICACION EN LA AGRICULTURA

por John Langa, Gerente de Mercadeo Internacional de RIS
Irrigations Systems, El Cajón, California

El MICRORRIEGO en sus múltiples formas es la aplicación dosificada de agua y elementos nutritivos cerca de cada una de las plantas de un cultivo. Esto en contraste con el Riego por Surcos cuyo control termina en la entrada.

La eficiencia de distribución está fuertemente afectada por variaciones en la rata de infiltración del agua hacia el suelo y la inclinación del terreno.

El Riego por Aspersión representa una mejora en comparación con el Riego por Gravedad pero el control de la distribución termina a la salida del agua de la boquilla de la aspersora. La eficiencia del Riego por Aspersión es afectada por condiciones de dinámica de vientos al pasar el agua de la aspersora a través del aire hacia las plantas dentro del amplio espacio cubierto por la aspersora.

El MICRORRIEGO en sus muchas formas, incluyendo el Riego por Goteo, no es nada nuevo. Una de las viejas patentes al respecto fue otorgada en Alemania en 1888 y consistía en la forma de un tubo de drenaje al revés. Desafortunadamente, el concepto estaba entonces muy adelantado a su tiempo.

La mayor limitación para la aplicación del MICRORRIEGO en la agricultura, ha sido el costo por hectárea de instalación del equipo.

Poco antes de la Segunda Guerra Mundial, una empresa en Inglaterra desarrolló un equipo de MICRORRIEGO a base de latón que fue aplicado al sector muy limitado de cultivos intensivos de invernadero. La empresa Cameron Irrigation, correctamente, identificó la situación peculiar de altos requerimientos en mano de obra combinada con cosechas de alto valor. Consecuentemente, desarrolló los primeros modelos de "micro jet" o surtidor de aspas. Estos sistemas funcionaron bastante bien en los invernaderos, pero su uso fue prácticamente terminado al iniciarse la Segunda Guerra Mundial. Aunque no ocurrió ningún desarrollo del MICRORRIEGO durante la guerra, sí hubo un desarrollo de penetración profunda en la tecnología del plástico. Esto preparó la fase de una rápida baja en los costos de sistemas de MICRORRIEGO y en consecuencia éstos llegaron a ser económicamente atractivos para su aplicación en un amplio sector agrícola.

Al terminar la guerra, se desarrolló en Israel una situación de necesidad de poblar sus zonas fronterizas extremadamente áridas y con muy limitada disponibilidad de agua. Bajo los auspicios de un principio militar, sin ninguna necesidad de justificación económica, se inició la investigación de las aplicaciones del MICRORRIEGO en el campo. El primer sistema práctico consistió en tubos de polietileno insertados en la pared de un tubo de polietileno de mayor diámetro. Este sistema de microtubos, subsecuentemente, llevó el desarrollo a los goteros o emisores de canal sinuoso fabricados en plástico por el proceso de inyección. Este esfuerzo intensivo de investigación en el desarrollo del Cercano Oriente demostró al resto del mundo la aplicación práctica del MICRORRIEGO en la agricultura que lo requiera. Una vez demostrada la aplicación práctica de este concepto solamente fue necesario desarrollar nuevos métodos de fabricación de sus componentes, de nuevos componentes y nuevos tratamientos y procesos del plástico para convertir lo que entonces era un muy costoso método de riego a un sistema eficiente y económico. El trabajo se inició entonces en muchas áreas del mundo y no hay ningún país que se pudiera describir como el mayor innovador. Revisando las patentes otorgadas a través del mundo se observa la diferencia de desarrollos, algunos de ellos son los "micro jets"

Mejorados de Africa del Sur, los emisores de canal tortuoso y los "automater assemblies" de Israel, el tubo de pared delgada para cultivos en hileras, métodos de fabricar orificios por rayos laser y la tecnología de entrecruzamiento molecular de los plásticos en los Estados Unidos, los micro asperjadores de Australia, para mencionar solamente algunos de estos mecanismos. Todas estas mejoras tanto en calidad como en costo se lograron contra la tendencia inflacionista, y esto está ilustrado por sistemas comparables que se podían instalar por un costo de U.S.\$ 4.000/Ha. al principio de la década del 60 contra un costo actual de menos de U.S.\$ 2.000/Ha.. Esto en apenas 20 años.

También fue necesario aprender a usar estos sistemas. Otra vez muchos institutos de investigación en todo el mundo contribuyeron a aumentar nuestros conocimientos en gerenciar cultivos y controles de sistemas. Probablemente el mayor problema que hubo que resolver fue el de la obstrucción debido a contaminación física, química y biológica. Afortunadamente, mayores avances logrados en la tecnología del saneamiento de agua simultáneamente con mejores sistemas permitieron al sector agro-industrial adoptar al MICRORRIEGO, tales como la industria azucarera de Hawaii que será totalmente convertida al Riego por Goteo en el año 1985; una conversión lograda en apenas diez años.

Actualmente hay 30.000 Ha. de caña de azúcar bajo Riego por Goteo y más de 160.000 Ha. bajo MICRORRIEGO en los Estados Unidos.

El primer paso para resolver los problemas del suelo al aplicar el agua es el desarrollo del riego por aspersión a principios de siglo; desde entonces se desarrolló una multitud desorientadora de mecanismos de control de flujo que se pueden clasificar como MICRORRIEGO y que van desde el micro-aspersor, el micro jet, hasta el mecanismo de Riego por Goteo verdadero tal como el goteo en espiral. Todos estos mecanismos usan uno o varios principios o su combinación para proveer control hidráulico. Cada tipo tiene sus ventajas específicas y desventajas que deben considerarse al seleccionar los componentes básicos. Actualmente exis-

ten tres métodos básicos de control de energía del flujo:

El primero es el control a través de orificios, mediante un tubo muy corto o un hueco que causa turbulencia y básicamente el flujo varía en relación a la raíz cuadrada del cambio de la presión. Las unidades que caen bajo esta clasificación son las micro-asperjadoras y micro jets con orificios relativamente grandes y unidades con orificios relativamente pequeños tales como partes moldeadas por inyección, goteros y orificios hechos con rayos laser.

Otro mecanismo básico de control es el del flujo laminar. Este sería cualquier tipo de tubo largo que tiene un diámetro muy reducido. El control de la energía de flujo es a través de la fricción creada al pasar el agua por un ducto muy estrecho. Estas unidades generalmente tienen un aumento lineal de descarga en relación al aumento de la presión; consecuentemente tienen una tolerancia de diseño más reducida. También está afectada por cambios en la temperatura del agua que causan cambios en la viscosidad y por consiguiente cambios en la fricción.

Unidades típicas de esta clase son los micro-tubos y los emisores de flujo en espiral.

El tercer mecanismo básico de control es el emisor tipo vórtice. El objeto es disipar energía del flujo usando la fuerza centrífuga y en consecuencia se usan conductos de flujo de mayor diámetro para la descarga bajo una rata fija de flujo. Debido a las bajas ratas de flujo deseadas, la mayoría de estos mecanismos usan un combinado de control de orificios y vórtice.

Los restantes cuatro clases de mecanismos de control realmente son modificaciones de lo anterior, pero substancialmente diferentes y requieren consideración separada.

Desde el punto de vista mecánico la membrana permeable (ori-

ficios microscópicos) es probablemente la forma más deseable de Riego por Goteo ya que el agua escurre a lo largo del tubo de riego. Desafortunadamente los problemas secundarios del control sanitario biológico y físico no han sido suficientemente resueltos para la explotación exitosa de esta técnica. Un número de empresas ha tratado de utilizarla, tales como Borg-Warner y DuPont, pero tubieron que abandonar este camino. Otra vía más exitosa es el uso del diafragma flexible. Este tipo usa un material elástico como caucho en combinación con un orificio o un tubo corto. Hay muchas formas de esta técnica que tienen la tendencia en la mayoría de los casos de compensar la presión; ellas permiten para el diseño una mayor amplitud pero hay la tendencia de mayores variaciones en la cantidad de agua emitida debido a diferencias inherentes a la parte flexible y el tipo plástico mucho más rígido. También hay que considerar la tendencia a cambios por procesos de envejecimiento y del ambiente.

Una modificación del sistema de emisión por flujo laminar ha sido desarrollado en el emisor de canal tortuoso. Esta unidad causa cambios bruscos en la dirección del flujo de agua lo que reduce el efecto de la viscosidad sobre la rata de flujo; el aumento en número Reynolds o la turbulencia también se observa en la disminución de la curva presión contra descarga y en un aumento del alcance del diseño. La mayoría de las unidades que hay en el mercado no se pueden desmontar, de manera que tienen que ser sustituidas al ocurrir una obstrucción.

La modificación general de los tres principios básicos de control de flujo es la del orificio múltiple. Este sistema consiste en el paso de una rata de flujo elevada a través de un solo orificio y la subsecuente redistribución del flujo a través de orificios múltiples de aproximadamente el mismo diámetro. La ventaja consiste en un aumento (más del doble) del diámetro del orificio manteniéndose la misma rata de descarga. Trabajando con alta pérdida de presión a través de un solo orificio de suministro permite aumentar el índice de tolerancia de la presión lo que clasifica esta técnica como un sistema

de compensación de presión sin la problemática de envejecimiento.

Hay muchos más componentes que se requieren para un sistema de MICRORRIEGO y si todos ellos no trabajan debidamente el sistema mismo no funcionará a satisfacción. La experiencia ha demostrado que el correcto filtrado y saneamiento del agua tienen más efecto sobre el éxito o el fracaso de un sistema que la selección del equipo de MICRORRIEGO dentro del campo.

Existe una gran variedad de filtros empezando con el simple filtro de malla para agua básicamente limpia de pozo hasta complejos medios de filtrado para aguas abiertas o fuertemente cargadas con arena. El filtro de malla por gravedad es un mecanismo sencillo que usa el agua que cae de un vertedor desde una altura de 15 a 20 cm. sobre mallas finas horizontales; la mayor parte del agua pasa directamente a través de la malla pero una parte reducida corre horizontalmente por ella proporcionando una acción de auto-limpieza. Una razón por la que esta unidad tiene éxito es que no se pueden desarrollar diferenciales de presión elevadas a través de la malla.

El sistema de mallas de presión se adapta para limpiar aguas de pozo no arenosas o se usan como refuerzo de otros sistemas de filtrado. Esta unidad no ha sido desarrollada para remover grandes cantidades de materias del agua de riego. El desarrollo del método del soplado hacia abajo ("blow down") pasando un flujo de alta velocidad a lo largo de una malla de filtrado ha aumentado su capacidad de tratamiento de aguas.

La nueva técnica de vacío para limpiar las mallas de filtro es también exitosa en algunos de los tipos de agua más difíciles.

Para aguas contaminadas físicamente los filtros de masa filtrante son los usados comúnmente. Se pueden automatizar y pueden absorber cantidades elevadas de material debido a la filtra-

ción tridimensional pero tienen la tendencia a fallar al reducirse el flujo si no se efectúa a tiempo el retro-lavado ("back wash").

Se usa cloro y otros productos químicos para combatir los contaminantes biológicos. Los cloradores de gas tratan el agua en la forma más económica en la cual el cloro está disponible, pero requiere un costo elevado de capital que puede ser demasiado en pequeños sistemas de riego. Se puede utilizar la bomba de presión para fertilizantes o accionada por flujo para inyectar cloro en su forma líquida así como también insecticidas, fertilizantes y ácidos para controles químicos.

Para el control del sistema se usa frecuentemente una tina clase A (U.S. Weather Bureau) para indicar la cantidad de agua de riego necesaria para mantener el adecuado crecimiento de las plantas.

Es útil también instalar tensiómetros para vigilar la calidad del riego.

Es necesario disponer de alguna forma de distribución de agua para para efectuar la conexión entre los mecanismos de emisión de agua y la propia fuente de ésta. Este sistema de distribución generalmente se construye en diámetros mayores en tubos de PVC o de polietileno de alta densidad con adecuados controles de presión, dependiendo éstos del tamaño del sistema. Una vez que ha sido instalado un sistema completo es necesario limpiarlo con un chorro de agua para remover arena, suciedad, animales (tales como ranas, ratoncitos, etc.) que se hubieran introducido durante la colocación y el ensamblaje, antes de agregar los equipos de emisión de agua dosificada.

Al sembrar el cultivo generalmente será necesario operar el sistema de riego por un período prolongado ya que los suelos desecados por el aire tienen que ser mojados y se tiene que formar una capa de cultivo normal para obtener el movimiento capilar habitual del agua a través del suelo; con un perfil humedecido ade-

cuadamente y un régimen de riego sin tensiones se desarrollará el sistema radical del cultivo. La experiencia indica que no hay tendencia a distorsionar la normal distribución de las raíces de la planta con excepción de las partes no regadas del perfil del suelo.

Es importante darse cuenta de que el MICRORRIEGO es nada más que una herramienta que el agricultor puede usar para resolver algunos de sus problemas físicos y económicos en la aplicación del agua de riego. En la misma forma que al comprar un tractor o un herbicida, el no usarla debidamente puede causar más daño que beneficio.

El MICRORRIEGO no es un sistema mágico que mejora los rendimientos; lo que hace, aplicado correctamente, es eliminar o reducir al mínimo la mayor parte de las variaciones del campo que influyen en el rendimiento. Se han efectuado muchos experimentos en parcelas de investigación con controles cuidadosos sobre Riego por Gravedad (o de superficie) por Aspersión y por Goteo y no se ha demostrado diferencia significativa entre los rendimientos de los tres sistemas, pero sí se ha demostrado diferencias mayores en ensayos en cultivos de tamaños prácticos. La principal razón para esta anomalía es que el agricultor pierde el control exacto sobre el agua y los caprichos de la naturaleza asumen el papel de distribución del agua.

Con riego de superficie hay una tendencia a aplicar más agua en los dos extremos del surco y menos en el centro. Hay también variaciones en las tasas de micro-infiltración y en el micro-relieve del canal. Así algunas partes del campo se acercarán en su rendimiento al potencial real, mientras que otras o bien recibirán insuficiente cantidad de agua o serán regadas en exceso. Consecuentemente el rendimiento promedio del campo será considerablemente más bajo que el máximo obtenible y obtenido en otras partes.

El mismo problema existe, aunque en menor escala, con la microaspersión aplicándose el agua bien dirigida a puntos situados

a diez o más metros de distancia, y muchos de los problemas de distribución, tales como rata de infiltración y topografía, han sido subsanados. Sin embargo, ha surgido un nuevo problema: el factor viento. A base de un buen estudio del comportamiento del viento y con un adecuado diseño del sistema se pueden lograr soluciones de óptimo espaciamiento. Desafortunadamente, con la naturaleza, tal "óptimo espaciamiento" no siempre es correcto pues cambia de día en día o de temporada en temporada porque el comportamiento del viento varía diariamente y a lo largo del año y mediante los cambios resultantes en el patrón de aplicación del agua se obtienen rendimientos más bajos en áreas extensas. Ambos sistemas (gravedad y micro-aspersión) requieren por parte del agricultor una razonable pericia en cuanto al tiempo de riego, el oportuno movimiento de la tubería, etc., siendo insuficiencia de agua debido a riegos cortos la regla general.

Con el MICRORRIEGO el agua es llevada directamente a o muy cerca de cada planta y definitivamente dentro de su distribución radical. También los tiempos de riego tienen la tendencia a ser prolongados reduciéndose así la influencia del factor humano; por este medio cada planta recibe la debida porción del agua disponible sin que ocurra exceso de riego que causa sobreabundancia; así tenemos una fuerte tendencia a que el rendimiento promedio se acerca más al rendimiento óptimo del campo.

Lamentablemente el MICRORRIEGO no es una panacea y trae consigo un nuevo juego de problemas que pueden ser solucionados siempre y afortunadamente en el equipo central (cabezal) en lugar del campo. Estos problemas se pueden clasificar como físicos, biológicos y químicos.

El físico consiste en la remoción de arena, cieno, peces y otras materias extrañas que pueden obstruir los ductos y orificios. La práctica general es remover por filtrado partículas que tienen un diámetro de hasta $1/7$ ó $1/10$ del orificio. Las partículas más finas que pasan por el filtro, tienen que mantenerse en dispersión y pasar al sistema sin aglomerarse. Al operar con agua cargada con cieno es necesario instalar un sis-

tema automático de lavado a chorro. En los primeros tiempos del MICRORRIEGO la causa de obstrucción menos comprendida fue la de emisores tupidos por razones biológicas. Se presumía que podrían ser algas, sin embargo éstas no crecen en la obscuridad. Al presentarse obstrucción en varias áreas geográficas, aunque se operaba con excelentes sistemas de filtrado, se atribuyó el origen al crecimiento de bacterias dentro del sistema lo que producía un limo que actuaba como agente ligante para la aglomeración de partículas de cieno que hubieran pasado el filtro. Después de considerables investigaciones se determinó que estos organismos se podían combatir fácilmente mediante la cloración de las aguas de riego. El método menos costoso es tratar el agua en la última sección del sistema proveyéndola con 10 a 20 ppm de cloro libre; aunque es el método de menor costo está sujeto al factor humano, de una mano de obra no muy confiable y ser difícil de supervisar; un buen método alternativo es el tratamiento continuo del agua a un nivel de 1 a 2 ppm de cloro libre. En este método el sistema puede ser inspeccionado en cualquier momento en el campo bajo riego y asegurar una cloración adecuada a un costo ligeramente más elevado. Estas dosis bajas de cloro no tienen efecto dañino sobre las cosechas comerciales estudiadas hasta ahora. En muchas áreas esta práctica se ha seguido durante años usándose agua potable clorada.

En áreas donde no existen por los momentos problemas biológicos es una buena práctica sanear el sistema periódicamente.

Los dos productos químicos que se acumulan más comúnmente son hierro y carbonatos.

Ambos se pueden neutralizar siguiendo la regla "mejor es prevenir que lamentar".

Si los carbonatos presentan problemas, una reducción periódica del pH del agua debajo de 4 durante media hora limpia el sistema; esto se debería hacer con ácido muriático (HCL) o un ácido similar antes de que ocurra una reducción significativa

del flujo. Si un emisor está completamente bloqueado es difícil conseguir un contacto entre el agua tratada con ácido y el carbonato bloqueador ya que no existe flujo a través del emisor.

El problema del hierro generalmente se resuelve mediante la aireación del agua de pozo descargándola a una laguna de sedimentación. Una vez que ha tenido lugar la sedimentación el agua se debería pasar de la laguna o tanque a un filtro de masa; ya que el hierro es muy soluble en aguas de pH bajo, resulta práctico acidificar el sistema a un pH debajo de 4 para volver a disolver el hierro que se hubiera precipitado y que hubiera pasado por el filtro. Otra vez esta acidificación se debería efectuar en forma preventiva y antes de que ocurriese la obstrucción de los orificios.

A veces ocurre un problema combinado químico-biológico cuando bacterias que se alimentan de complejos de hierro y azufre estuviesen presentes en el agua conjuntamente con el hierro en su forma química respectiva. En estos casos es necesario clorar el sistema. Frecuentemente una sobre-cloración de una sola vez de 200 ppm del pozo contaminado puede corregir la situación.

Existen muchos cultivos que han sido sujetos al MICRORRIEGO en forma industrial. Los primeros en aceptar las nuevas técnicas fueron los de plantas muy separadas entre sí tales como cítricos, árboles frutales y árboles de frutos oleaginosos.

Como la cantidad de agua requerida por unidad y en relación a la superficie total era pequeña, esto dió como resultado un costo por hectárea más bajo al usar el MICRORRIEGO. El siguiente grupo de cultivos de mayor aceptación para el Riego por Goteo fue el "cultivo de hilera", especialmente las fresas. El aumento en el rendimiento fue de 36% en este cultivo de alto valor incrementando la población de plantas por Ha. en el mismo porcentaje. El sistema de tubos de riego por goteo eliminó el alto porcentaje del área utilizada para surcos que era la práctica del riego por gravedad. En tomates, un cultivo de valor algo menor, se obtuvieron tanto mejoras de rendimiento como costos de

cosecha más bajos ya que no había conflicto entre el tiempo requerido para el riego y para cosechar. Estamos al borde de un movimiento de MICRORRIEGO para los cultivos de algodón, maíz y sorgo. Bajo estas condiciones económicas el algodón se produce actualmente económicamente usando riego por goteo. La industria es joven e innovadora. Prácticamente cualquier cultivo puede beneficiarse del MICRORRIEGO bajo condiciones existentes en distintos lugares. Estas condiciones pueden ser alto costo energético, escasez de agua, alto costo de mano de obra, mano de obra poco confiable o la necesidad de reducir el costo total de operaciones agrícolas. Un beneficio lateral identificado en Hawaii después de varios años de operación fue la reducción en el costo de control de malezas. Estas habían llegado al campo con semillas transportadas por las aguas de riego abiertas. Así el agua de riego era la fuente primaria de la contaminación del cultivo con malas hierbas.

Al reducirse el costo del MICRORRIEGO contra la tendencia de la inflación mundial, este sistema es una forma económica de riego y en la vasta mayoría de casos económicamente justificable.

PAPEL DE LA FISILOGIA VEGETAL EN LA MICROIRRIGACION.
RECOMENDACIONES PARA EL MANEJO MEJORADO.

Por

ELIAS FERERES CASTIEL

Catedrático de la E.T.S. Ingenieros Agrónomos
e investigador del I.N.I.A., Córdoba, España

Ponencia a presentar en el 2º Congreso Latinoamericano de mi-
croirrigación. Barquisimeto, Venezuela, 21-27 Junio 1.981

I. INTRODUCCION. EL MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL CONTINUO SUELO-PLANTA-ATMOSFERA.

Desde un punto de vista estrictamente físico, la planta es un sistema de transporte hidráulico entre una fuente, el suelo, y un sumidero, la atmósfera. El movimiento del agua a través del continuo suelo-planta-atmósfera, en contra del campo gravitatorio y de las resistencias debidas al rozamiento, es debido a la evaporación del agua en la parte aérea de las plantas. Concretamente, la fuerza motriz que hace fluir el agua desde la masa del suelo a las superficies evaporantes de las hojas, es la caída del potencial hídrico en la hoja como consecuencia de la pérdida de agua producida por la transpiración.

Este descenso del potencial del agua origina gradientes de potencial en la planta, gradientes que serán más pronunciados allí donde los flujos o las resistencias al paso del agua sean mayores. Por tanto, al descender el potencial del agua en las zonas transpiratorias, se origina la fuerza motriz para que el agua se mueva de los tejidos adyacentes al xilema tales como el mesófilo foliar, córtex y floema. Estas pérdidas de agua en los tejidos de la raíz, tallo y hojas son las que originan los déficits de agua en las plantas. Así pues, los déficits hídricos son una consecuencia inevitable del movimiento del agua en contra del campo gravitatorio y del rozamiento y no porque la pérdida de agua supere a la absorción del sistema radicular como frecuentemente se dice. (Jarvis, 1.975)

En consecuencia, puede afirmarse que toda planta al transpirar experimenta, inevitablemente, un cierto nivel de déficit hídrico. Esta idea es importante para separar estos déficits hídricos que se producen diariamente como consecuencia del proceso de la transpi-

ración de aquellos otros que, actuando a más largo plazo, inducen, - stress hídrico en las plantas y reducen su crecimiento y producción.

Para analizar con más detalle los flujos de agua y las re- sistencias que ésta encuentra a su paso a través de la planta cabe - utilizar una ley análoga a la de Ohm, en la que el flujo del agua en- tre dos puntos es directamente proporcional a la diferencia de poten- cial del agua entre los puntos considerados e inversamente proporci- nal a la resistencia entre ambos según la serie de ecuaciones:

$$J = \frac{\Delta \Psi}{R_t} = \frac{\Psi_s - \Psi_r}{R_s} = \frac{\Psi_r - \Psi_x}{R_r} = \frac{\Psi_x - \Psi_h}{R_h} \quad (1)$$

donde J es el flujo de agua, Ψ es el potencial hídrico y R, la re- sistencia siendo los distintos subíndices s=suelo; r=raíz, x=xilema del tallo y h=hoja.

De las tres resistencias indicadas en la ecuación (1) la re- sistencia de la hoja es la de mayor magnitud y la única que la plan- ta puede manipular a corto plazo mediante la regulación estomática.- La resistencia del suelo es inversamente proporcional a la conducti- vidad hidráulica del suelo que a su vez es función del contenido vo- lumétrico de agua. Además, influyen factores de geometría y densidad del sistema radicular (Hsiao y cols., 1.976) que, como se verá con - posterioridad, son de gran importancia a la hora de evaluar el impac- to de los riegos localizados en la absorción de agua del suelo.

La resistencia a nivel de la raíz se considera compuesta de

una componente radial (de la superficie de la raíz al interior del xilema) y otra axial debida a la resistencia que ofrecen los vasos del xilema al transporte del agua desde su punto de entrada en el xilema de la raíz hasta la base del tallo.

A nivel de hoja, el proceso de transpiración requiere un gradiente de presión de vapor entre las cavidades subestomáticas, donde el agua pasa de la fase líquida a la de vapor, y el aire que rodea la hoja. Por otra parte es preciso un suministro de energía para el cambio de estado, energía que procede de la disipación de la radiación neta a nivel de la hoja.

El proceso de transpiración a nivel de hoja puede expresarse según la siguiente ecuación:

$$T = \frac{C_v^i - C_v^e}{r_h + r_a} \quad (2)$$

donde C_v^i es la concentración de vapor en el interior de la hoja y C_v^e es la concentración de vapor en el exterior siendo r_h la resistencia de la hoja (combinación de la resistencia de la cutícula y la estomática) y r_a la resistencia de la capa límite.

La difusión turbulenta del vapor de agua de las superficies foliares unida a la evaporación directa del agua del suelo dan lugar, a nivel de comunidad de plantas, al proceso de la evapotranspiración cuyo estudio es básico para la programación de los riegos como se discute en la segunda parte de esta ponencia. Por otra parte, sentadas ya las bases, muy someras por razón de espacio, de los aspectos físicos del agua en el continuo suelo-planta-atmósfera, cabe profun-

dizar en los aspectos fisiológicos y agronómicos de la respuesta de los cultivos al riego localizado.

II. RESPUESTA DE CULTIVOS AL RIEGO LOCALIZADO.

Como punto de partida debe puntualizarse que las respuestas de los cultivos a la irrigación no deben verse afectadas por el método de riego que se emplee sino por el régimen de humedad que dicho método imponga al cultivo en cuestión. Esto quiere decir que la experiencia acumulada de la investigación en los métodos tradicionales de riego puede utilizarse en buena parte para orientar los trabajos y predecir las respuestas de los cultivos a los nuevos sistemas de microirrigación o riego localizado.

No obstante existen dos aspectos fundamentales del riego localizado desde el punto de vista de la respuesta de los cultivos que le hacen diferir de muchos de los métodos de riego tradicionales. Dichos aspectos son: a) La capacidad de mantener casi constantes niveles de humedad en el suelo muy elevados mediante aplicaciones frecuentes de agua, y b) la localización del agua a una fracción del volumen total del suelo, mojando a menudo solo parte del sistema radicular del cultivo.

Estas dos características de alta frecuencia y localización del agua son claves para estudiar el comportamiento de los cultivos frente al riego por goteo y deben ser inherentes a todo sistema de microirrigación. Por desgracia, a menudo se observan sistemas de riego por goteo manejados con la frecuencia de los métodos tradicionales o, por defectos de diseño, comportándose como sistemas de riego por inundación, eso sí, muchos más costosos y sofisticados.

Estos aspectos mencionados permiten un manejo del agua de -

riego esencialmente diferente al de muchos métodos de riego convencional y han dado pie a que con frecuencia se suponga que la producción de cultivos ha de verse incrementada al sustituir los métodos de riego convencionales por riegos localizados. En el análisis que sigue se intentan aclarar algunos aspectos de esta controversia que, en muchos casos, es meramente académica.

II.1. RESPUESTA DE LOS CULTIVOS AL REGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO.

Ya se ha visto que toda planta está sometida a déficits hídricos diarios como consecuencia del proceso de la transpiración independientemente del nivel de humedad del suelo. Desde principios de siglo, numerosos experimentos resumidos en varias revisiones (por ejemplo, Salter y Goode, 1.967) han demostrado que existe un nivel de agua en el suelo por encima del cual, los déficits hídricos diarios a nivel de la planta no se alivian mientras que el crecimiento y la producción de los cultivos no aumenta a partir de ese nivel. Inversamente, puede definirse un valor umbral de humedad del suelo por debajo del cual el crecimiento y la producción disminuyen.

Evidentemente, cualquier sistema de riego localizado, que esté bien manejado tiene la capacidad de mantener en todo momento la humedad del suelo por encima del valor umbral antes mencionado. Por lo tanto, la caracterización de dicho valor umbral debe ser irrelevante bajo riego localizado siempre y cuando se eviten niveles de humedad tan próximos a saturación que puedan reducir la aereación o facilitar la invasión de las plantas por hongos del suelo que proliferan cuando el contenido de agua del suelo se aproxima al de saturación.

Sin embargo, al objeto de evaluar los posibles impactos positivos que puedan resultar de la sustitución de sistemas de riego -

convencionales por riegos de alta frecuencia, interesa profundizar en el concepto de valor umbral de la humedad del suelo, frecuentemente conocido en la literatura como nivel de agotamiento permisible (allowable depletion en inglés).

El nivel de agotamiento permisible de un suelo no es un único sino que depende, para un suelo dado, de la demanda evaporativa y del estado de desarrollo del cultivo. De los conceptos descritos en el Apartado I, son de vital importancia en la determinación del nivel de agotamiento permisible el valor de la resistencia del suelo, a su vez función de la conductividad hidráulica del mismo, así como de la densidad y morfología del sistema radicular. Desde excelente análisis va clasico, de Hagan (1.957) numerosos experimentos han aumentado nuestros conocimientos respecto a como definir el valor umbral mencionado. Es obvio, que la experimentación local es fundamental a la hora de aplicar estos conocimientos a la solución de cada caso particular. También es evidente que es posible definir el valor umbral de una forma conservadora de manera que exista siempre una garantía frente a períodos ocasionales de alta evapotranspiración ó incertidumbre respecto a la profundidad o densidad del sistema radicular.

Para evaluar el impacto de los sistemas de riego localizado frente a los convencionales, se pueden considerar dos casos: en suelos de escasa capacidad de retención de agua es casi imposible utilizar métodos convencionales de riego de superficie o de aspersion portátil sin que el nivel de humedad del suelo descienda por debajo del valor umbral dentro del intervalo entre dos riegos. Es bajo estas situaciones de suelos marginales donde los riegos de alta frecuencia muestran ventajas definitivas sobre los convencionales. En suelos marginales de textura gruesa, característicos de zonas áridas, el riego por goteo ha demostrado sobradamente sus ventajas en numerosos ensayos comparativos con sistemas de riego por surcos y aspersion convencionales (Goldberg, Gornat y Rimon, 1.976)

Por el contrario, en numerosos suelos agrícolas donde la capacidad de retención de humedad oscila entre moderada y alta y el desarrollo radicular es bastante extenso, es posible utilizar una amplia gama de métodos y frecuencias de riego sin que se afecte la producción. En estas condiciones, todos estos métodos tendrán el mismo potencial productivo si se manejan de forma óptima. Henderson y Ferreres (1.981) citan ejemplos donde no se encontraron diferencias en crecimiento y producción en distintos cultivos regados por métodos convencionales y por goteo.

En conclusión antes de dictaminar las posibles ventajas a obtener sustituyendo sistemas de riego convencionales por sistemas de riego localizados de alta frecuencia, se hace necesario evaluar en detalle las características físicas e hidrodinámicas del suelo en cuestión, siendo muy deseable que la experimentación local preceda a una reconversión masiva que pudiese resultar innecesaria y, por tanto, antieconómica.

II.2. PATRONES DE DESARROLLO RADICULAR Y DE EXTRACCION DE HUMEDAD BAJO RIEGO LOCALIZADO.

Una de las preocupaciones iniciales que el riego localizado generó, se relaciona con los patrones de desarrollo radicular y el volumen mínimo de suelo que debe ser humedecido por el sistema de riego para conseguir un suministro de agua adecuado a las necesidades del cultivo en todo momento.

Los recientes estudios sobre crecimiento y desarrollo radicular (ver, por ejemplo, Caldwell, 1.976) sugieren que el sistema radicular es altamente dinámico y de extraordinaria plasticidad. El crecimiento continuo de nuevas raíces se simultanea con la muerte de

las de mayor edad, de manera que, en un momento determinado, el sistema absorbente lo constituye el balance entre las tasas de crecimiento y muerte de raíces. Por tanto es razonable pensar que la localización de agua (y fertilizantes) a parte de la zona radicular debe traer como consecuencia una proliferación acusada del sistema radicular en las partes del suelo humedecidas por el riego localizado.

La tabla 1 muestra datos de Atkinson (1.980) en manzano que indican una concentración en cuanto al peso de raíces debajo del gotero y una disminución o medida que se aleja uno del punto de emisión.

Un parámetro más pertinente que refleja mejor que la masa de raíces la capacidad de absorción de agua, es la densidad radicular (cm de raíz por cm^3 de suelo) que se midió bajo almendros regados — por goteo a comienzos del verano (5-5-80; Fereres, datos no publicados) bajo un gotero que llevaba 3 años en funcionamiento y otro, situado a 90 cm del anterior, instalado 2 meses antes (Tabla 2). Como puede observarse, la proliferación de raíces bajo el gotero antiguo es muy superior a la existente bajo el nuevo emisor. Un nuevo muestreo realizado en Septiembre del mismo año mostró que ambos valores se aproximaban bastante, lo que indica que al cabo de una campaña, — el sistema radicular se había adaptado plenamente al nuevo patrón de distribución de agua.

Los dos ejemplos anteriores demuestran que los sistemas radiculares se adaptan sin dificultades al riego localizado siendo las altas densidades radiculares responsables de las elevadas tasas de absorción de agua que se observan bajo los emisores en el riego localizado (Holzapfel y Fereres, 1.981).

T A B L A 1

Peso de raíces (g) en un volumen de $0,04 \text{ m}^3$ de suelo de manzanos regados por goteo y no regados. Tomado de Atkinson. (1.980)

Profundidad (cm)	Junto al gotero		A 90 cm del gotero	
	Goteo	No regado	Goteo	No regado
0 - 20	22.8	23.4	13.9	30.0
30 - 60	25.5	13.5	7.6	8.2
60 - 90	10.8	10.8	8.6	5.2
90 - 120	13.6	5.9	5.2	4.5
TOTAL	72.8	53.6	35.3	47.9

T A B L A 2

Densidad radicular (cm/cm^3) en almendros de 4 años regados por goteo medida bajo el gotero original y bajo un nuevo gotero situado a 90 cm e instalado 2 meses antes. Los valores son media de seis observaciones \pm desviación típica.

Profundidad (cm)	Bajo gotero original	Bajo gotero nuevo
0 - 15	5.4 ± 0.8	2.6 ± 0.5
15 - 30	5.2 ± 1.6	1.6 ± 0.2
30 - 60	2.5 ± 0.4	1.4 ± 0.4
60 - 90	1.8 ± 0.3	0.7 ± 0.1
TOTAL	14.9 ± 3.4	6.3 ± 1.9

Otro aspecto que recibe bastante atención se refiere a la porción mínima de suelo que debe ser humedecida en los riegos localizados para que no se produzca stress hídrico en el cultivo. A pesar de que se ha especulado mucho al respecto aún no se ha realizado el experimento crítico que aporte respuestas definitivas. Ya se ha dicho que el sistema radicular se adapta al riego localizado después de un cierto periodo de transición. Este aspecto es importante a considerar cuando se van a efectuar transformaciones de métodos de riego convencionales a riegos localizados, lo que debe hacerse preferiblemente en periodos donde la demanda atmosférica es baja.

La experiencia adquirida en California indica que huertos adultos con volúmenes de suelo mojado alrededor del 20% dan producciones elevadas y se comportan bien siempre y cuando se suministre la suficiente cantidad de agua para compensar las pérdidas por evapotranspiración. Queda la duda sobre si esos mismos huertos producirían más si se aumentan el volumen de suelo mojado. Se han descrito al menos dos casos donde el menor rendimiento obtenido en riego por goteo se ha atribuido al escaso volumen de suelo mojado. Marsh y cols. (1.981) opinan que en sus estudios comparativos de riego por goteo frente a aspersion en aguacates, el menor rendimiento observado en riego por goteo se debió a utilizar solo 4 emisores por árbol en un suelo de alta tasa de infiltración. Beutel, Uriu y Fereres (1.981) observaron que melocotoneros adultos y regados por goteo tenían tasas de crecimiento vegetativo inferior a las de aquellos regados por inundación, lo que se atribuyó a un escaso volumen de suelo mojado (alrededor del 13%).

Además de mostrar una preocupación excesiva en el porcentaje de suelo mojado, existe la tendencia a suponer que el sistema radicular está totalmente confinado a la zona humedecida por los emisores en riego localizados. Esto suele ser falso en aquellas regio-

nes en la que las lluvias estacionales mojan la totalidad de la zona radicular dado que cualquier cultivo perenne desarrollará raíces en toda la zona radicular potencial. Una vez que las zonas del suelo — que no están dentro del radio de acción de los emisores pierden su agua disponible, el sistema radicular entra en dormancia en aquellas zonas pero está dispuesto a reanudar su crecimiento y absorción en cuanto el suelo se vuelva a humedecer. Fereres (1.976) observó crecimiento "de novo" de raíces a las 48 horas de aplicarse un riego a un cultivo de sorgo que no se había regado en 50 días. Naranjos adultos en el desierto de Arizona comenzaron a absorber agua a las pocas horas de aplicarse un riego después de haber pasado seis meses desde el último riego sin que cayese cantidad apreciable de lluvia en ese largo periodo, siendo el potencial hídrico del suelo inferior a -28 bases. (Fereres y cols., 1.979).

III. RESPUESTAS DE LOS CULTIVOS A RIEGOS DEFICITARIOS DE ALTA FRECUENCIA.

El concepto de riegos deficitarios de alta frecuencia se ha desarrollado recientemente como consecuencia del interés en conservar agua en la agricultura. Se trata de aplicar volúmenes de agua inferiores al consumo del cultivo (o ET del cultivo) a intervalos muy frecuentes (diarios). La hipótesis es que las plantas se adaptan bajo ese régimen de humedad al stress hídrico con lo que se puede reducir el uso consuntivo (ET cultivo) por debajo de la ET máxima sin que se afecte la producción de los cultivos.

Un régimen de riego como el que se ha descrito puede producir dos regímenes de humedad en el suelo. Si la reserva hídrica utilizable en el suelo es elevada cuando se comienza el riego deficitario, el cultivo absorbe de éste la fracción necesaria para compensar la demanda evapotranspirativa junto con el volumen de riego aplicado —

con lo que supuestamente no se producen déficits hídricos a nivel de la planta y la ET del cultivo se compensa totalmente mediante la combinación de aportes del suelo y del riego deficitario. Tal es el caso de la producción de remolacha, trigo y judías obtenida bajo riego deficitario por Miller (1.977).

Por el contrario, cuando la reserva hídrica del suelo es insuficiente, los aportes diarios bajo riego deficitario solo compensan las pérdidas por ET hasta que dicha reserva hídrica se agota. A partir de allí, un régimen de riego deficitario induce stress hídrico en el cultivo con la consiguiente reducción en los rendimientos sin que se hayan detectado hasta ahora fenómenos de adaptación en los cultivos que hagan suponer que la ET pueda reducirse sin afectar a los rendimientos. Este segundo caso, donde la reserva hídrica en el suelo es insuficiente, ha sido estudiado por Fereres y cols. (1.978) en los cultivos de sorgo y judías regados por aspersión y en tomate regado por goteo. En los tres casos, al descender la ET debido al riego deficitario de alta frecuencia, se afectó negativamente la producción. Los resultados del ensayo de tomate se presentan en la Tabla 3 (Fereres y cols., 1.978).

Como puede verse, en este caso al reducirse la ET del cultivo como consecuencia de la reducción del volumen de agua aplicada, se redujeron los rendimientos del mismo en un porcentaje aún mayor lo que confirma los resultados obtenidos en numerosos ensayos y que se pueden generalizar insistiendo que, en la gran mayoría de los casos, la reducción de la ET por debajo de su valor potencial conlleva una reducción en la producción del cultivo en cuestión.

Las conclusiones anteriores obtenidas en investigaciones llevadas a cabo en cultivos anuales es posible que necesiten revisarse

para algunos cultivos arbóreos a la luz de ensayos recientemente realizados en melocotonero (Ferrerres, Beutel y Uriu, 1.981) y en almenadro (Castel y Ferreres, 1.981). Indudablemente, la problemática de la producción de fruta en zonas áridas presenta peculiaridades notables que la hacen merecedora de una atención mayor en lo que al manejo de agua se refiere. En el ensayo que se describe a continuación se pretendía estudiar la respuesta del melocotonero a riegos deficitarios por goteo utilizando fracciones decrecientes de la ET como volumen de agua aplicada.

Uno de los aspectos más sorprendentes de la respuesta al riego deficitario donde se utilizó del 25 al 33% de la ET es el volumen de agua extraído del perfil del suelo comparado con el del tratamiento no regado. Los resultados se presentan en la Figura 1 tomada de Beutel, Ferreres y Uriu (1.981).

Se puede observar que, al finalizar las temporadas de 1.978 y 1.979, el tratamiento de riego por goteo deficitario había extraído mayor volumen de humedad del suelo que el tratamiento no regado, situación que contrasta con la que cabría esperar, puesto que debería ser el tratamiento no regado el que agotase el perfil del suelo en una mayor cantidad que cualquier tratamiento regado. Debe añadirse que los valores indicados para el tratamiento de riego por goteo son medias de al menos 12 tubos de acceso de sonda de neutrones situados debajo de los emisores y fuera de la influencia de éstos. Asimismo, es preciso indicar que dado que los volúmenes de agua aportados eran sólo una pequeña fracción de la ET del cultivo, el frente de humedecimiento de los emisores no profundizó por debajo de los 60 cm. El suelo donde se realiza dicho experimento (aún en marcha) es franco-arcilloso con una capacidad de retención moderadamente alta (Yolo clay loam).

A la vista de los resultados de la Figura 1 cabe preguntarse mediante que mecanismos consigue el tratamiento de riego deficitario extraer más agua del perfil del suelo que un tratamiento no regado. La respuesta es compleja y continua siendo investigada pero puede adelantarse una hipótesis que ha sido ya comprobada y que se resume más abajo.

Las modestas aplicaciones de agua en el tratamiento de riego deficitario retrasan el agotamiento de la reserva del suelo a principios de verano. Esto hace que el estado hídrico del árbol sea relativamente bueno y que la apertura estomática y la fotosíntesis se mantengan a niveles elevados. A medida que avanza el verano, mientras que el stress hídrico en el tratamiento no regado se hace más acusado induciendo cierre estomático a primeras horas de la mañana, el tratamiento de riego deficitario es capaz de reducir su potencial hídrico manteniendo niveles aceptables de apertura estomática mediante mecanismos de ajuste osmótico (Hsiao y cols., 1.976 b).

El ajuste osmótico consiste en la acumulación a nivel de hoja de sustancias osmoticamente activas (azúcares, ácidos orgánicos etc.) presumiblemente originadas por la fotosíntesis de la propia hoja, lo que la permite mantener el turgor a pesar de que se reduzca el potencial del agua de la hoja (Acevedo y cols., 1.979; Turner, 1.979). Durante 1.978 y 1.979 se midieron potenciales de agua en ambos tratamientos encontrándose que, a partir del mes de Agosto, el potencial hídrico al mediodía del tratamiento de riego deficitario era más bajo (alrededor de -30 bares) que el del tratamiento no regado (- 26 bares). Esto, que a primera vista indicaría que el stress hídrico era más severo en el tratamiento de riego deficitario, no es así puesto que un menor potencial osmótico en dicho tratamiento permitía el mantenimiento del turgor y, por ende, de una serie de fun-

ciones vitales.

Ilustrado el punto anterior se presenta la figura 2 tomada de Fereres, Beutel y Uriu (1.981) que muestra la evolución diurna de la fotosíntesis en tres tratamientos que incluyen uno regado abundantemente por inundación frente a los dos que se vienen analizando. Obsérvese la notable diferencia entre el tratamiento no regado donde el cierre estomático reduce drásticamente la fotosíntesis a partir de las 9 de la mañana frente al tratamiento de riego deficitario donde ésta se mantiene a niveles aceptables si bien por debajo de las tasas de fotosíntesis del tratamiento control.

La relación entre fotosíntesis y conductancia estomática encontrada en este estudio confirma otras halladas con diferentes plantas herbáceas (Turner, 1.979) y se presenta en la figura 3 a y b para dos épocas en la estación de crecimiento. La diferencia entre las pendientes de ambas líneas viene dada por el deterioro del aparato fotosintético como consecuencia de los procesos de senescencia foliar que ya habían comenzado en Octubre cuando se estableció la relación de la figura 3 b.

La evolución estacional de la tasa de fotosíntesis medida al mediodía se presenta en la Figura 4. En ella puede verse que el tratamiento no regado presenta las tasas de fotosíntesis más bajas, particularmente después de la recolección a principios de Agosto. Las tasas de fotosíntesis del tratamiento de riego deficitario se acercan a las del tratamiento control mostrando una recuperación en Otoño cuando la demanda evaporativa disminuye.

Los estudios fisiológicos realizados en el ensayo anteriormente citado y de los que se presenta una descripción completa en los trabajos de Beutel, Fereres y Uriu (1.981) y de Fereres, Beutel y —

Uriu (1.981) permiten abrigar ciertas esperanzas respecto a la utilización eficiente de cantidades muy limitadas de agua (caso de años de sequía o de zonas con muy escasos recursos hídricos) utilizando el riego deficitario de alta frecuencia en ciertas especies frutales como el melocotonero. En efecto, la aplicación localizada de pequeños volúmenes de agua permite desplazar el periodo de stress hídrico con posterioridad a la recolección del fruto con lo que la producción sólo se afecta ligeramente, reduciéndose, eso sí, el crecimiento vegetativo que tiene lugar en el periodo post-cosecha. No se conocen aún los impactos a largo plazo que dicho régimen de riego deficitario pudiera tener sobre el comportamiento de los árboles. El ensayo, que comenzó en 1.977, continuará hasta 1.984 lo que permitirá evaluar los efectos a largo plazo de la aplicación de volúmenes de agua equivalentes al 25-30% de la ET en una zona como el Valle Central de California donde las lluvias anuales no rebasan los 400 mm, distribuidas en su mayor parte fuera de la estación de crecimiento.

IV. NECESIDADES HIDRICAS Y PROGRAMACION DE RIEGOS LOCALIZADOS.

El desarrollo tecnológico que ha hecho posible la utilización de los riegos localizados de alta frecuencia obliga a reconsiderar la problemática de la programación y de los calendarios de riego. En efecto, en el caso de los riegos de alta frecuencia el suelo deja de desempeñar el papel de almacén de reservas hídricas para convertirse en mero soporte mecánico del cultivo (Rawlins y Raats, 1.975). Por tanto, la determinación del intervalo entre dos riegos carece de sentido, quedando fijada en base a criterios de operatividad. La información necesaria para establecer un calendario de riegos se reduce a conocer las pérdidas debidas a la evapotranspiración (ET) y a las necesidades de lavado de sales en algunos casos. El conocimiento de la ET del cultivo es pues esencial para manejar el agua con eficacia en el caso de los riegos localizados.

IV.1. LA EVAPOTRANSPIRACION BAJO RIEGO POR GOTEO.

Numerosos estudios se han realizado para medir o calcular las necesidades hídricas de los cultivos (e.g., Dorenboos y Pruitt, 1.977)-regados por métodos tradicionales. Sin embargo, debido a la reducción del área de suelo humedecida en los riegos localizados, estas mediciones no se pueden aplicar directamente a evaluar la ET bajo riego por-goteo.

Cuando se intenta aplicar la información mencionada basada en - métodos tradicionales para establecer las necesidades hídricas, bajo-riego por goteo es preciso evaluar dos diferencias fundamentales. En- primer lugar, la magnitud de la reducción en la evaporación directa - del agua del suelo bajo riego por goteo donde una pequeña fracción de la superficie del suelo está siempre mojada y el resto, siempre seco. En segundo lugar puede haber un incremento en la transpiración bajo - riego por goteo relativa a la que tiene lugar bajo métodos tradicionales, donde se humedece toda la superficie aunque a intervalos más o - menos frecuentes. Cabe esperar que, en muchos casos, este segundo - efecto sea de menos importancia que el primero.

Existe información basada en varios experimentos donde se ha in- tentado evaluar la disminución de la ET bajo riegos localizados rela- tiva a la de los riegos tradicionales. Los resultados varían según el porcentaje de suelo sombreado y la frecuencia de los riegos en los métodos tradicionales que se compararon con los localizados.

Fereres y Gols (1.981) consideran tres situaciones al evaluar - la magnitud en la reducción de la evaporación (E) bajo riego localizado. La de mayor magnitud y por ende más favorable, se refiere al rie-

go de árboles jóvenes que sombrean solo una pequeña fracción del suelo .

Marh y cols. (1.981) dan cifras de ahorro de agua aplicada de más del 50% cuando aguacateros jóvenes (1 a 3 años) se regaron por goteo frente a aspersión.

Una segunda situación se centra en el riego de viñedo o de cultivos en líneas al comienzo de la estación de crecimiento. En este caso, dependiendo de la frecuencia de riego bajo los métodos tradicionales, la reducción de ET bajo riego localizado puede ser considerable, oscilando entre el 10 y el 25% de la ET en base a los datos existentes en la literatura. En una comparación entre riego localizado y riego de superficie por inundación en melocotoneros que sombreaban alrededor del 40% de la superficie del suelo, la reducción de la ET estacional mediante el riego localizado fué alrededor del 17% (Bentel, Fereres y Uriu, 1.981). Por último, existe una tercera situación de cultivos en líneas, huertos y viñedos donde las plantas sombrean la mayor parte del suelo y donde la reducción en la E bajo riego localizado parece despreciable. Datos lisimétricos obtenidos en Davis (Pruitt y cols, 1.981) indican que las tasas de ET en tomates bajo riego por goteo y por surcos fueron, idénticas cuando el porcentaje de suelo sombreado superó el 50%. al parecer, en este caso la mayor parte de la ET se debe a T siendo E una fracción pequeña del total de la ET. También pudiera ser que la reducción en E se compense con el aumento de T bajo riego localizado, como se ha mencionado anteriormente.

En resumen, aunque se empiezan a conocer la magnitud del ahorro potencial que el riego por goteo puede producir al reducirse la E di-

recta, es preciso que las investigaciones se intensifiquen para poder estimar con mayor precisión el potencial que tienen los sistemas de riego localizado para conservar agua.

IV.2. MANEJO DEL AGUA Y PROGRAMACION DE RIEGOS LOCALIZADOS.

Quizás sea en este apartado donde aparezcan las mayores diferencias entre los riegos tradicionales y los riegos localizados. Ya se ha dicho que en el caso de los riegos localizados, el suelo deja de cumplir su papel de reserva hídrica convirtiéndose en suero soporte del cultivo. Esto hace que la programación de los riegos localizados se centre en conocer las necesidades de riego (ET más fracción de lavado), mientras que la determinación del intervalo entre dos riegos carece de sentido. Los riegos localizados deben ser a la vez riegos de alta frecuencia, normalmente diaria, en periodos de alta demanda evaporativa.

Queda pues claro que básicamente solo se precisa conocer la magnitud de las pérdidas debidas a la ET para establecer los calendarios de riego localizado para reponerlas a intervalos frecuentes. Si no se hiciese así, se corre el riesgo que en suelos marginales propicios al riego por goteo se produzca un stress hídrico con enorme rapidez, afectando seriamente al cultivo. Fereres y cols. (1.981 b) encontraron que el potencial hídrico de almendros jóvenes regados con 2 emisores se redujo de -15 bares a por debajo de -30 bares a los 4 días de interrumpir el riego diario, cuando la ET de referencia era alrededor de 5.5 mm/día.

Desgraciadamente en la gran mayoría de los casos el regante no tiene a su disposición datos fidedignos de la ET del cultivo bajo rie

go localizado y carece de los conocimientos y la experiencia para estimarla. En una reciente evaluación realizada en diez inversiones regadas por goteo en Almería España) se encontró que el agua aplicada oscilaba entre el 40 y el 180% de la ET estimada (Fererres, datos no publicados) situación que se reflejaba en la variabilidad de los rendimientos, calidad de las cosechas y eficiencia en el uso de los fertilizantes.

Actualmente hay dos opciones para establecer un calendario de riegos localizados. En primer lugar se puede estimar la ET para el caso de riego tradicional y modificarla teniendo en cuenta lo dicho en el apartado III.1.. Uno de los métodos más populares para estimar la ET_0 (ET de referencia, Dorencoos y Pruitt, 1.977) es la utilización del tanque evaporimétrico de la clase "A" del U.S. Weather Bureau. Conocida la ET_0 , el problema reside en conocer los coeficientes correctores para estimar la ET cultivo, en función de las características peculiares del mismo. Es aquí donde existe actualmente un vacío de información y una confusión tal que sería deseable concentrar los esfuerzos de investigación y experimentación al objeto de generalizar los criterios que permiten estimar la ET cultivo bajo riego localizando en base a la ET_0 para una amplia gama de medio ambientes, cultivos y estados de desarrollo.

Como ejemplo de la incertidumbre actual sobre la conversión de la ET de referencia a la ET del cultivo bajo riego localizado se puede contrastar la información resumida recientemente por Vermeiren y Jobling (1.980) con los datos experimentales relacionados ET_0 con ET cultivo bajo riego localizado publicados por Fereres y cols. (1.981).

El coeficiente de corrección para el caso de un cultivo que som

bree el 30% de la superficie oscila entre el 30 y el 40% de la ET_0 - según diversos autores cuyas estimaciones estan basadas, al parecer, en juicios con cierta base empírica pero en ningún caso experimental. Este cálculo del 30 al 40% de la ET_0 contrasta con los datos - experimentales obtenidos en tres huertos de frutales en california - con árboles de distinta edad y cuyos resultados se recogen en la Figura 5 .

Según esta figura un huerto regado por goteo que tuviese un 30% de suelo sombreado, tendría una ET equivalente al 60% de la ET_0 . Es to sería debido a fenómenos de advección de gran importancia en una zona con el Valle Central de California que añaden a la microadvección clásica a nivel de árbol aislado rodeado de una zona de suelo seco.

La discrepancia anterior podría hacer cometer errores de hasta el 100% en cuanto a la estimación de la ET del cultivo regado por goteo. Es evidente que se hace necesario incrementar el número de ensayos donde se obtengan estimaciones fiables de la ET en riegos localizados.

Hasta que dicha información esté disponible, una segunda alteración para programar el riego por goteo es la utilización de tensiómetros. Es de todos conocido las limitaciones que la utilización de estos instrumentos presenta para la determinación del momento del riego en sistemas tradicionales. Sin embargo, en riegos localizados parecen tener una mayor difusión recomendandose la utilización de instrumentos a profundidades distintas (uno a unos 20-30 cm. y otro cercano al fondo de la zona radicular potencial) y dosificar el agua de manera que se mantenga potenciales cuátricos en el primero entre-

-10 y -25 centibares. El tensiómetro en profundidad debe indicar si las cantidades añadidas son excesivas o deficitarias.

V. CONCLUSION

Los sistemas de riego localizado son potencialmente capaces de satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos con un mínimo de pérdidas adicionales, por lo que pueden alcanzar una eficiencia muy elevada. Esto requiere, sin embargo, una programación de los riegos muy precisa que idealmente precisaría de combinar estimaciones de la ET del cultivo, con una monitorización de la zona radicular mediante tensiómetros. Pérdidas de agua por percolación profunda, stress hídrico por aplicación volúmenes deficitarios y una falta de uniformidad debido a obturaciones son ejemplos de problemas que aparecen en los riegos localizados y que disminuyen la eficiencia en el uso del agua. Es evidente que incluso los sistemas de riego diseño más sofisticado solo pueden ver su potencial ~~realizado~~ si se manejan correctamente.

VI. BIBLIOGRAFIA

- ACEVEDO, E.; FERERES, E.; HSIAO, T.C. y HENDERSON, D.W. (1.979):
"Diurnal Growth trends, water potential and osmotic adjustment of
maize and sorghum leaves in the field. Plant Physiol. 64: 476-480.
- ATKINSON, D. (1.980): "The effect of trickle irrigation on the dis-
tribution of root growth and activity in fruit trees. Manuscrito -
no publicado.
- BEUTEL, J.A.; FERERES, E. y URIU, K. (1.981): "Drip Irrigation of -
Peach trees: I. Evapotranspiration and water extraction. En prepa-
ración.
- CASTEL, J.R. y FERERES, E. (1.981): "Responses of young almond trees
to cycles of water stress in the field. Enviado a Journal of Horti-
cultural Science (London).
- CALDWELL, M.M. (1.976): "Root extension and water absorption En: wa-
ter and Plant Life. Ecological Studies vol. 19 editores: O.L. Lan-
ge y cols. p. 63-84.
- DOREMBOOS, J. y PRUITT, W.D. (1.977): "Crop Water Requirements. FAO
Irrigation and Drainage Paper nº 24.
- FERERES, E. (1.976): "Growth, Development and Yield of Sorghum in -
the field under variable water supply. Univ. of Calif., Davis Ph.
D. Dissertation. 254 p.
- FERERES, E.; AMRY, B.; FACI, J.; KAMGAR, A.; RESENDE, M. y HENDERSON,
D.W. (1.978): "A closer look to deficit high-frequency irrigation.
Calif. Agric. Aug., 1-4.

- FERERES, E.; CRUZ-ROMERO, G.; HOFFMAN, G. y RAWLINS, S.L. (1.979): -
 "Recovery of orange trees following severe water stress". J. of -
 app. Ecol. 16, 833-842.
- FERERES, E.; PRUITT, W.E.; BEUTEL, J.A.; HENDERSON, D.W.; HOLZAPFEL, .
 E. y URIU, K. (1.981): "Evapotranspiration and drip irrigation -
 scheduling. En: Drip Irrigation Management. Editor: E. Fereres. -
 Univ. of Calif. Spec. Pub. En presnsa. 110 p.
- FERERES, E.; ALDRICH, T.M.; SCHULBACH, H y MARTINICH, D.A. (1.981): -
 "Responses of young almond trees to late season drought. Calif. -
 Agric. En prensa.
- FERERES, E.; BEUTEL, J.A. y URIU, K. (1.981): "Drip irrigation of -
 peach trees. III Physiological responses to tree water stren. En -
 preparación.
- GOLDBERG, D; GORNAT, B. y RIMON, D' (1.976): "Drip Irrigation Princi -
 ples and Practices.
- HENDERSON D.W. y FERERES, E. (1.981): "Crop responses to drip irriga -
 tion. En: Drip Irrigation Management; Editor: E. Fereres. Unive. -
 of Calif. Special Publication. En prensa. 110 p.
- HOLZAPFEL, E. y FERERES, E. (1.981): "Patterns of soil water movement
 under drip-irrigation young almond trees. En preparación.
- HSIAO, T.C.; FERERES, E.; ACEVEDO, E. y HENDERSON, D.W. (1.976): -
 "Dynamics of growth and yields of crop plants. En: Water and Plant
 Life. Ecological Studies nº 19 Editores: Lange y otros.
-
- (1.976-b): -
 "Water Stress, growth and osmotic adjustment. Phil. Trans. Roy. -
 Soc. London B. 273: 479-500.

- JARVIS, P.G. (1.975): "Water transfer in plants. En: Heat and Mass transfer in the biosphere. Part I. Editors: D.A. de Vries y N.N. Afgan. p. 369-394.
- MARSH, A.W.; GUSTAFSON, C.E.; BRANSON, R.L. y DAVIS, S.A. (1.981): "Drip irrigation on avocados in San Diego Country. En: Drip Irrigation Management, Editor: E. Fereres. Univ. of Calif. Spec. Pub. En presan. 110 p.
- MILLER, E.W. (1.977): "Deficit high-frequency irrigation of various crops. ASCE summer meetings Reno, Nevada.
- PRUITT, W.O.; FERERES, E.; HENDERSON, D.W. y HAGAN, R.M. (1.981): "Evaporation savings through drip irrigation in tomatoes. En preparación.
- RAWLINS, S.L. y RAATS, P. (1.975): "Prospects for high frequency irrigation. Science 188: 604-610.
- SALTER, P.J. y GOODE, J.E. (1.967): "Crop responses to water at different stages of growth. Research Review nº 2. Commonwealth Agricultural Bureaux, England 246 p.
- TURNER, N.C. (1.979): "Mechanisms of adaptation to drought. En: Sten Physiology of crop plants. Editors H. Mussell y R.C. Staples, p. 343.
- VERMEIREN, I. y JOBLING, G.A. (1.980): "Localized irrigation. FAO - Irrigation and Drainage paper nº 36. 203 p.

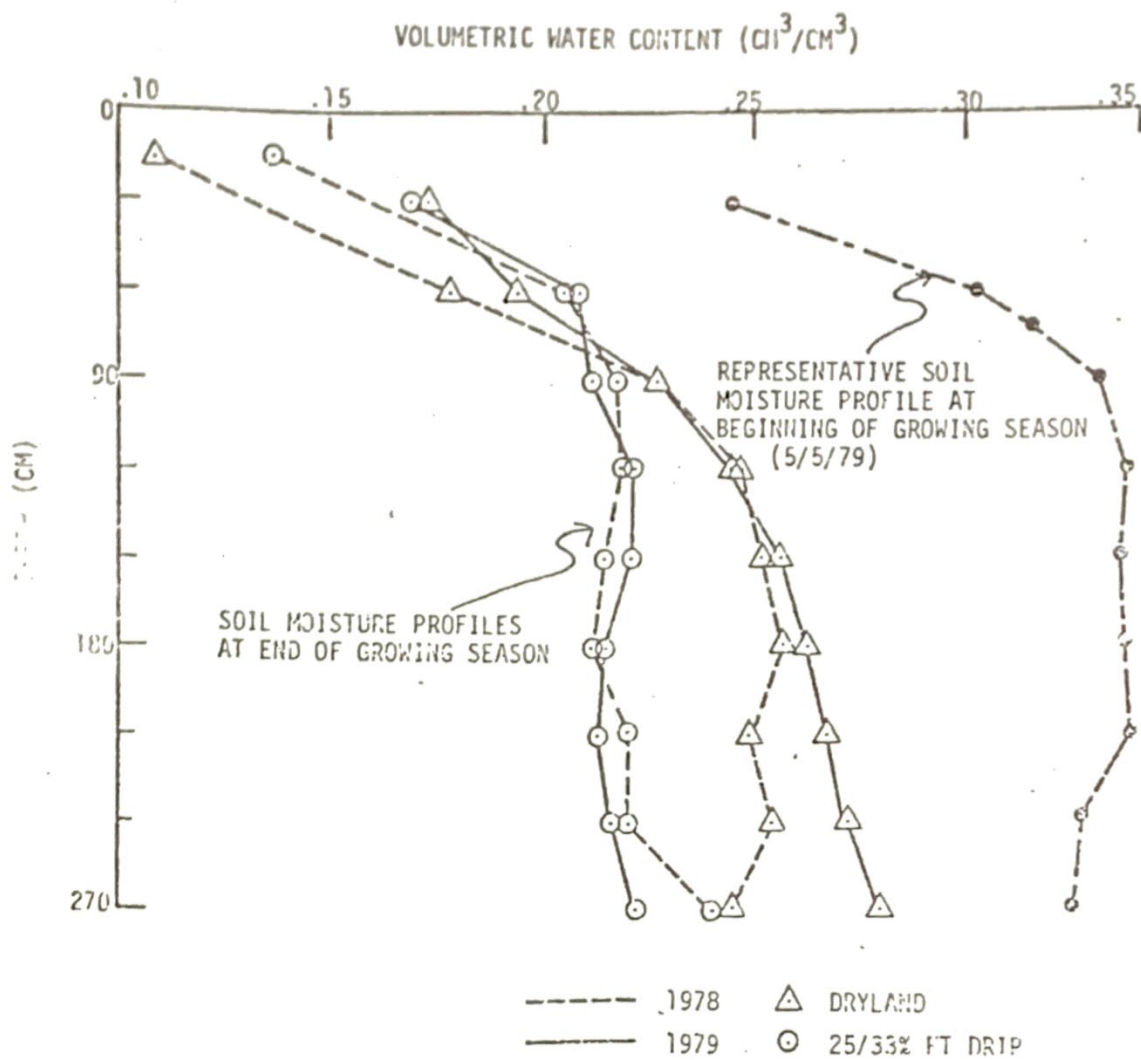


Figura 1. Relación entre contenido volumétrico de agua y profundidad al comienzo y fin de la estación de crecimiento en melocotonero bajo riego por goteo deficitario y sin riego. Tomado de Beutel, Fereres y Uriu. (1.981)

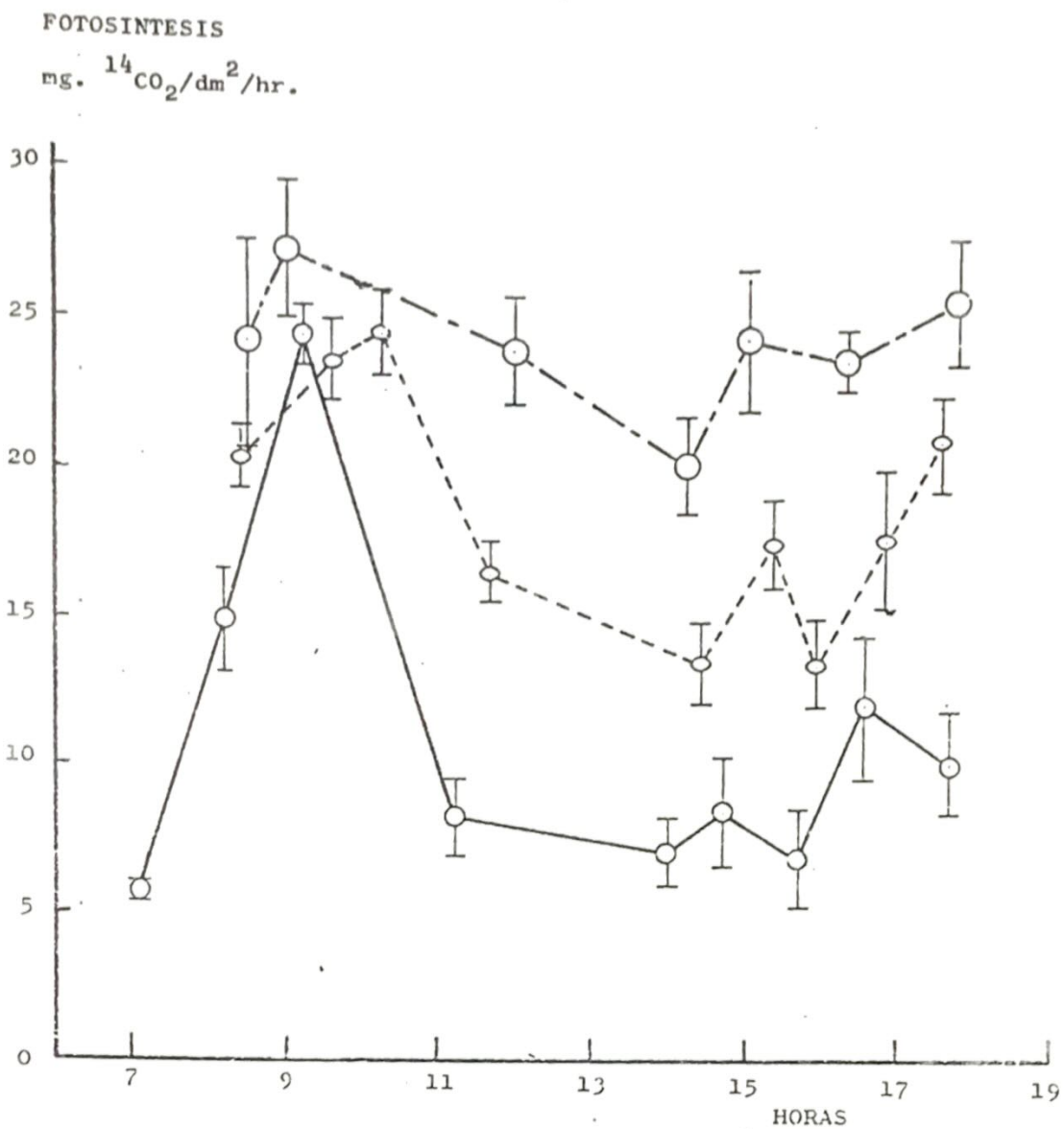
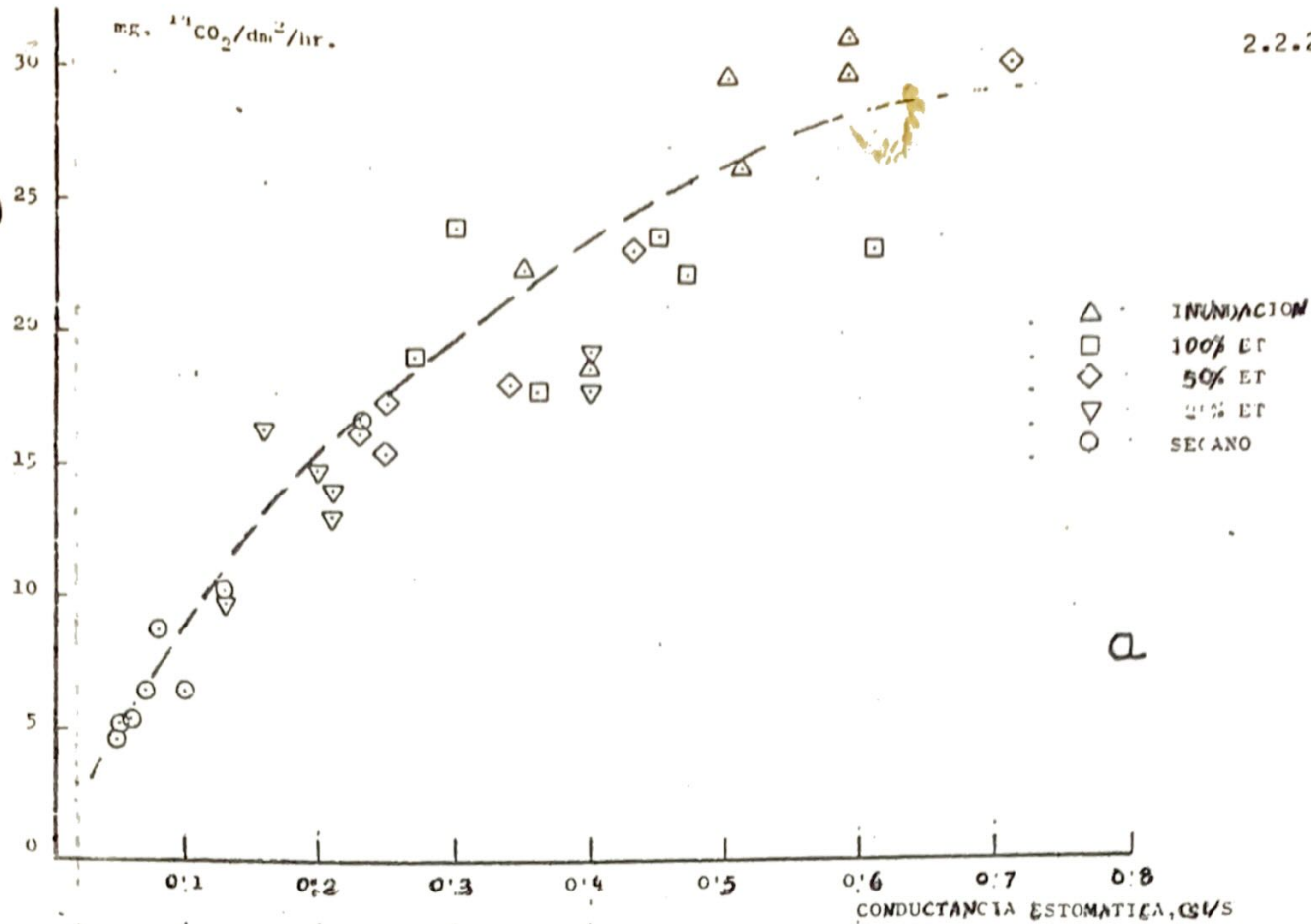


Figura 2. Evolución diurna de la tasa de fotosíntesis en melocotonero para un tratamiento bien regado (- . -) riego deficitario (....) y no regado (—). Tomado de Ferreres, Beutel y Uriu, 1.981.



FOTOSINTESIS

mg. $^{14}\text{CO}_2/\text{dm}^2/\text{hr.}$

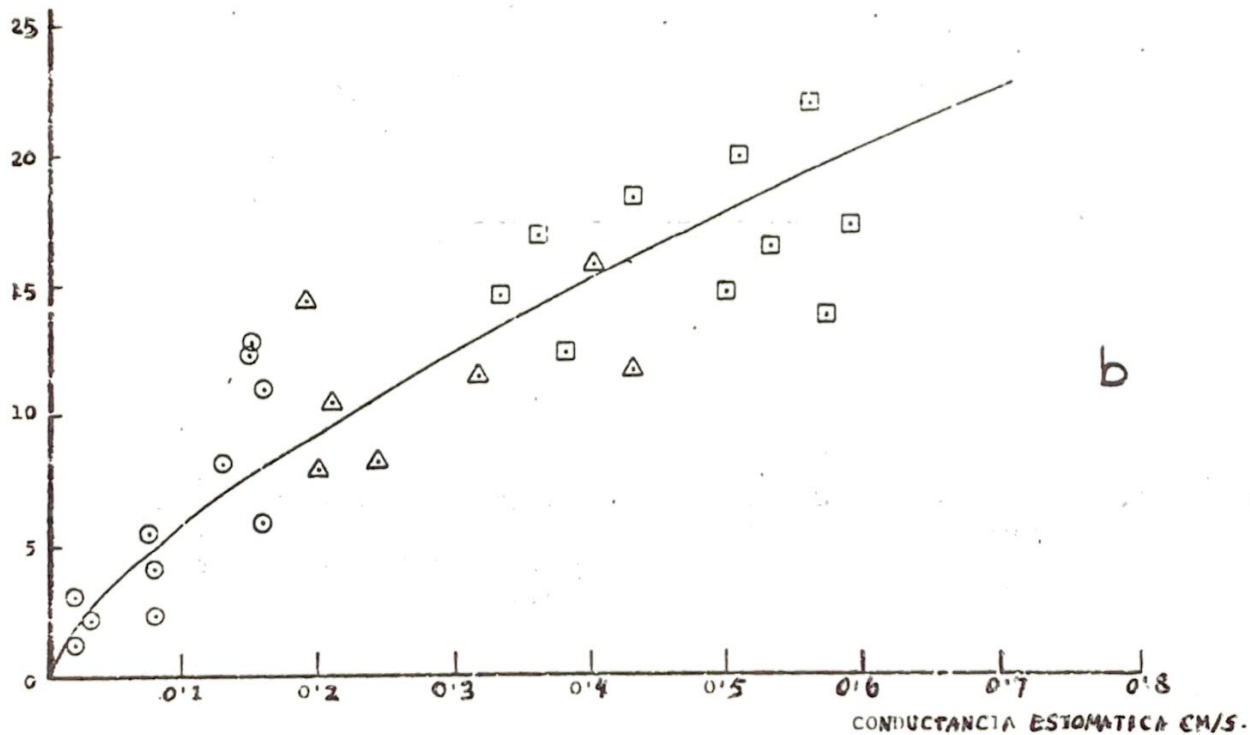


FIGURA 3

FOTOSINTESIS

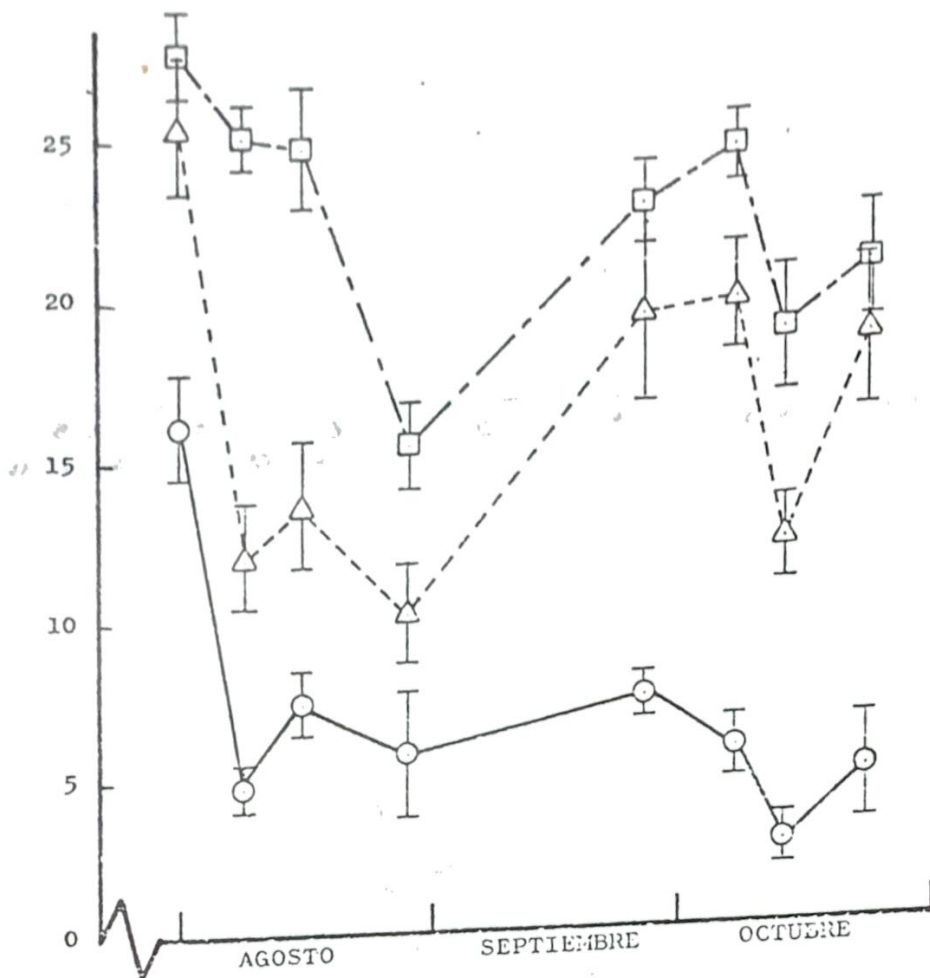
mg. $^{14}\text{CO}_2/\text{dm}^2/\text{hr.}$ 

Figura 4. Evolución estacional de la tasa de fotosíntesis en melocotonero para un tratamiento bien regado (- · -), riego deficitario (---) y no regado (—). Tomado de Fereres, Beutel y Uriu, 1.981.

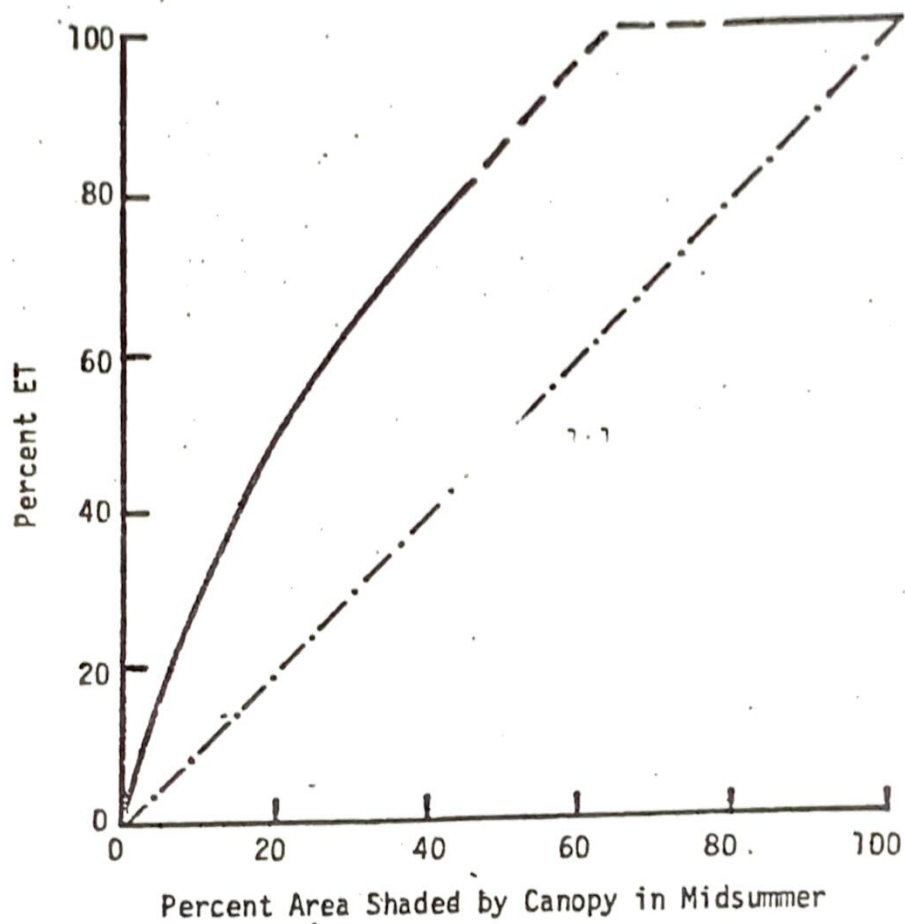


Figura 5. Relación entre porcentaje de suelo sombreado y ET para árboles regados por goteo obtenido experimentalmente - bajo las condiciones del Valle Central de California.- Tomado de Fereres y cols. (1.981)

IV SEMINARIO LATINOAMERICANO

"RIEGO POR GOTEO"

21-27 de Junio 1981

RIEGO POR GOTEO
PRINCIPIOS Y PRACTICAS AGRICOLAS

por: Dr. B. Gornat
Ramat-Hasharon
Israel

MINISTERIO DE AGRICULTURA
CENTRO DE COOPERACION
AGRICOLA INTERNACIONAL

Rehovot - Israel

Junio 1981

PRINCIPIOS DEL RIEGO POR GOTEO

El método de riego por goteo ha experimentado un impulso considerable durante los últimos años. En distintos países del mundo han sido publicadas descripciones detalladas de este método.

Los resultados prometedores obtenidos, tanto en laboratorio como en el campo han sido motivos de un gran optimismo con respecto al uso de este método en agricultura.

Efectivamente, algunos de estos resultados han sido utilizados con éxito, pero aún existe lugar para estudios e investigaciones adicionales, con la finalidad de revelar todas las potencialidades del método.

Se debe tener presente, que el riego por goteo no es, simplemente, otro método de aplicación de agua a las plantas; más bien es un nuevo enfoque agrotécnico de cultivos en hilera, en condiciones altamente controladas de humedad del suelo, fertilización, salinidad y control de plagas, factores que ejercen una influencia significativa en el rendimiento de los cultivos, época de cosecha y calidad del producto.

1. VENTAJAS DEL METODO DE RIEGO POR GOTEO DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA RELACION
SUELO - AGUA - PLANTA

Situación Tecnológica

- 1.1 Igual aporte de agua y abono a cada planta.
- 1.2 Posibilidad de regar y abonar en intervalos muy cortos.
- 1.3 Zona delimitada de agua y abono distribuidos.
- 1.4 Control diario de la humedad del suelo.
- 1.5 Posibilidad de variar diariamente los tipos, cantidades, y concentraciones de abonos.
- 1.6 Posibilidad de lavado diario de suelo en la zona húmeda.

Ventajas Agrotécnicas y Económicas

Crecimiento uniforme en la extensión cultivada.

Alta disponibilidad de agua y abono para las plantas e incremento de rendimiento.

Incremento de la eficiencia en el uso del riego y abono resultando en una mayor economía en el costo de agua, fertilizantes y energía.

Control de humedad del suelo según necesidades fenológicas y agrotécnicas, mejorando la calidad y rendimiento. Determinación del momento de cosecha.

Control de la concentración de elementos nutritivos en el suelo, en función de las necesidades fenológicas y agrotécnicas mejorando la calidad y rendimiento.

Previene acumulación de sales en la zona radicular principal. Posibilidad de uso de aguas con concentraciones salinas más altas que las permitidas por otros sistemas. Aprovechamiento de aguas residuales y marginales.

- | | |
|--|---|
| 1.7 Flujo no saturado tridimensional del agua en un volumen limitado de suelo. | Posibilidad de intercambio de gases en la zona radicular a través de la periferia del bulbo húmedo, previniendo situaciones de asfixia y pudrición de raíces. |
| 1.8 Se mantiene constante la situación del volumen húmedo. | Desarrollo del sistema radicular, y la planta constantes. |
| 1.9 Disminución, tanto del volumen húmedo, como de las situaciones de saturación en el interior de este. | Incremento de la temperatura del suelo en primavera, acelerando el desarrollo y adelantando la época de la cosecha. |
| 1.10 Disminución del caudal con un mayor tiempo de irrigación. | Disminuye la necesidad de un sistema de drenaje en suelos muy compactos. |
| 1.11 La superficie humedecida se sitúa baja el área cubierta por las hojas. | Se reduce la necesidad de destrucción de malezas. |
| 1.12 Concentración de la zona activa radicular. | Posibilidad de cultivar únicamente las franjas útiles de terreno (menos del 50% del total). |
| 1.13 Control constante de humedad y situación de la solución del suelo. | Posibilidad de cultivar en casi todos los tipos de suelo desde el más pesado hasta el más arenoso. |
| 1.14 Uso del sistema para aportar distintas soluciones. | Tratamientos del suelo mediante el sistema, tales como herbicidas, fungicidas o insecticidas sistémicos. |
| 1.15 Sistema de riego fijo y automático con suministros prefijados de agua. | Notable ahorro en la mano de obra y mayor seguridad en el suministro de las dosis prefijadas. |

2. ESQUEMAS DE SISTEMAS DE GOTEO PARA EL RIEGO DE DIVERSOS CULTIVOS.

Se ha encontrado que varios esquemas de riego por goteo son adecuados para diversos cultivos, pero el espaciamiento de los laterales y la selección del caudal y ubicación del gotero se deben basar en la consideración de varios factores: características de cultivo, propiedades del suelo, calidad del agua y prácticas agrotécnicas. El propósito de este capítulo es describir varios esquemas de riego por goteo, y discutir las prácticas de cultivo y su efecto sobre las técnicas del riego por goteo.

2.1 Esquema de riego gota a gota: espaciamiento y ubicación del gotero.

En la figura 12.1 se ilustran algunos esquemas comunes en riego por goteo. Para cultivos anuales se emplea generalmente una tubería de goteros por hilera (fig. 2.1 a), y se sugiere el siguiente espaciamiento entre goteros para los siguientes tipos de suelos: suelo pesado, 60-75 cm; suelo medio, 50 cm, y suelo liviano, 40 cm (incluso 30 cm en un suelo muy liviano). Para cultivos anuales (fig. 2.1 b) también se utiliza frecuentemente un lateral por dos hileras de cultivo. La decisión de utilizar una línea simple o doble de goteros está dada por el hábito de crecimiento de la planta (sistema radicular y aéreo), conductividad capilar del suelo y prácticas de cultivo.

En la figura 2.1 (c,d) se presentan esquemas de goteo para árboles frutales. Para el propósito de diseñar sistemas de riego, los árboles frutales se dividen en tres categorías, de acuerdo a las distancias de plantación:

- I Árboles densamente espaciados, no más de 3 m entre árboles en la hilera.
- II Árboles medianamente espaciados, no exceden de 6 m entre árboles en la hilera.
- III Árboles ampliamente espaciados, más de 6 m entre árboles en la hilera.

Un determinado tipo de frutal debe ser plantado a diferentes distancias bajo prácticas culturales diferentes, y obviamente, el esquema de goteo deberá diseñarse en conformidad.

2.2 Hortalizas y otros cultivos anuales.

Los cultivos anuales poseen las características de pequeño tamaño y de una zona relativamente reducida, y requieren prácticas culturales intensivas. El campo debe limpiarse completamente al final de la temporada, preparándolo (incluyendo desinfección de suelo) para el próximo cultivo. Bajo estas condiciones sería muy ventajosa alguna forma de equipo de goteo desechable. Este equipo precisaría ser suficientemente barato para justificar su destrucción al final de la temporada. Sin embargo, un solo uso anularía los problemas de taponamiento y almacenamiento de las tuberías para su empleo posterior, y se requeriría menos mantenimiento y protección de las tuberías durante el período de funcionamiento. Adicionalmente, el uso repetido de las tuberías tiende a tener como resultado un riego menos eficiente (poca uniformidad en la distribución del agua y disminución en el caudal de algunos goteros).

Algunos fabricantes han modificado el concepto de equipo de un solo uso, al instalar laterales que no se pueden destruir, con goteros desechables (esto significa que cada temporada se coloca un nuevo conjunto de goteros).

2.2.1 Hortalizas

Todos los cultivos hortícolas pueden regarse eficientemente con el método de goteo. El plantar de una o dos hileras por cada lateral de goteros depende de la naturaleza del cultivo y del tamaño de las plantas adultas. Generalmente, lo más adecuado es utilizar una tubería de goteros por dos hileras de plantas, siempre y cuando sea compatible con una producción apropiada. Prácticamente todas las hortalizas pueden cultivarse utilizando este espaciamiento.

Tomate (*Lycopersicon esculentum*)

En tomates se ha demostrado, que el riego por goteo es muy ventajoso. Puesto que la planta tiene raíces bastante profundas y es de un tamaño considerable, se acostumbra proporcionar una tubería de goteros por hilera de cultivo. Algunas variedades (por ejemplo "Marmande") se cultivan normalmente sobre cañas, alcanzando la planta una altura superior a 213 cm. El tomate es muy sensible a la falta de aireación en el suelo y es propenso a enfermedades si el follaje es humedecido. En el desierto de Aravá, tomates regados por goteo y abonados han producido rendimientos comerciales de sobre 204 t ha.

Berenjena (*Solanum melongena*)

La berenjena tolera tensiones entre 1-2 atm, pero produce excelentes resultados con bajas tensiones de agua del suelo. La berenjena, al ser regada por goteo en línea pareada, ha tenido rendimientos de 61,2 - 102 t ha con la aplicación diaria de cantidades relativamente pequeñas de agua (utilizando un 0,7 de la evaporación de una pila). Se puede suponer que toda la familia de la berenjena responderá de manera igualmente favorable al riego por goteo.

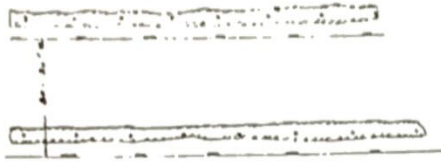
Papa (*Solanum tuberosum*)

Las plantas adultas de papa tienen 50-100 cm de altura, son muy tupidas y pueden cubrir toda la superficie del suelo. Es bastante conocido que la compactación del suelo, debida al movimiento del equipo de riego de hilera a hilera, es altamente perjudicial para la producción del cultivo. Bajo condiciones determinadas, incluso las gotas de agua que caen de un sistema por aspersión pueden reducir los rendimientos a causa de la compactación.

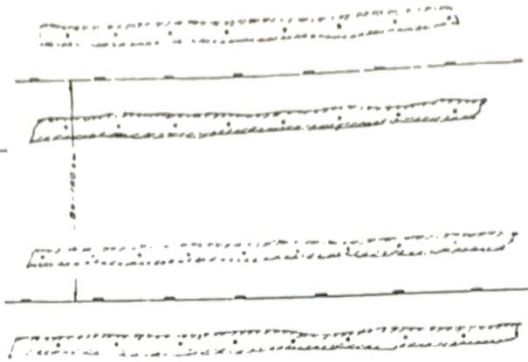
Aunque la experiencia en el uso del riego por goteo en papas es aún limitada, los resultados son promisorios. En condiciones donde se utiliza línea pareada, se aplican fertilizantes a través del sistema, los riegos se dan frecuentemente y se evita el tráfico en el campo, se pueden obtener altos rendimientos comerciales de 102-122 t ha.

ESQUEMAS DE SISTEMAS DE RIEGO PARA EL RIEGO DE DIVERSOS CULTIVOS

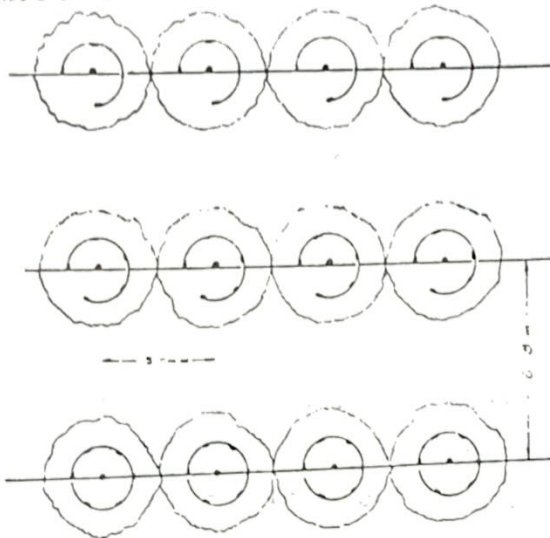
a. Una tubería de goteros a lo largo de cada hilera



b. Una tubería de goteros entre hileras adyacentes



c. Árboles de tamaño medio: una tubería de abastecimiento con un tubo lateral de goteo alrededor de cada árbol



d. Árboles grandes: una tubería de abastecimiento con tubos laterales de goteo alrededor de cada árbol

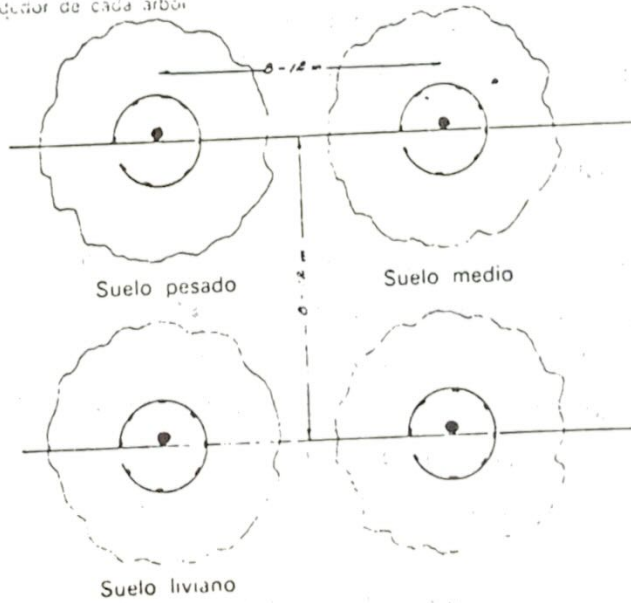


Figura #21. Esquemas de riego por goteo, de uso común para diversos cultivos

Cucurbitáceas (Cucurbitaceae)

Esta gran familia incluye el pepino (*Cucumis sativus*), melón (*Cucumis melo*), patilla (*Citrullus vulgaris*) y calabaza (*Curcubita maxima*). Todos presentan un crecimiento acelerado, son más bien cultivos con una larga temporada y con un sistema radicular medio a profundo.

Los sobresalientes resultados obtenidos con el riego gota a gota pueden ser atribuidos a los siguientes factores: el mantenimiento de una baja tensión de agua en el suelo favorece el desarrollo de la planta; la aplicación de fertilizantes a través del sistema de goteo, a intervalos frecuentes, ayuda a incrementar los rendimientos; las enfermedades debidas al humedecimiento del follaje, durante el riego, son reducidas.

Un rendimiento de 36 t ha era considerado alto para el melón. Bajo riego por goteo se han registrado producciones comerciales de 61 t ha y aún de 102 t ha. Se recomienda que con el riego por goteo se emplee la línea pareada.

Crucíferas (Cruciferae)

Esta familia incluye (*Brassica oleracea* var. *capitata*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) y coles de bruselas (*Brassica oleracea* var. *itálica*). Todos requieren condiciones tibias y suelos con buen drenaje. La disponibilidad constante de agua a baja tensión fomenta el crecimiento y buenos rendimientos. Líneas pareadas sobre camas levemente elevadas es lo más utilizado.

Fresas y flores

Las fresas (*Fragaria grandiflora*) crecen en una amplia variedad de suelos, poseen raíces superficiales y requieren frecuentes aplicaciones de agua. Es importante mantener húmeda la superficie del suelo a fin de estimular el desarrollo de más raíces secundarias en la base de la corona de la planta; generalmente, una planta más grande produce más fruta.

Con el uso del riego por goteo se han obtenido resultados excelentes. La tubería de goteros se coloca bajo una lámina de plástico de 1,2 m de ancho, en la cual se perforan agujeros para formar el modelo pareado a cada lado del lateral de goteo. Las plantas de fresa se plantan a través de esos agujeros.

Esta cubierta plástica del suelo sirve para varias funciones: I, reduce la evaporación y crea una mejor distribución lateral del agua; II, mantiene húmeda la superficie del suelo, permitiendo de esta manera un mejor establecimiento de plantas hijas; III, protege la fruta del contacto con el suelo húmedo y la mantiene limpia para el despacho; IV, proporciona una mejor protección contra la podredumbre del cuello y raíces (*Phytophthora fragariae*) y otras enfermedades.

Con el riego por goteo se han obtenido en fresas rendimientos de hasta 100 t ha, comparados con 25-35 t ha utilizando métodos de riego convencionales.

2.2.2 Cultivos industriales, forrajeros y cereales.

Los cultivos industriales, forrajeros y cereales poseen las siguientes características en común: son cultivados extensivos; comparados con cultivos intensivos la utilidad es baja, el cultivo es altamente mecanizado, y su viabilidad económica depende en gran medida de un manejo técnico y administrativo correcto. Estos cultivos ocupan una gran parte de la tierra cultivada del mundo, siendo la base de las principales necesidades alimenticias de la raza humana.

Las utilidades relativamente bajas de estos cultivos y ciertas dificultades agrotécnicas, desalentaron a los usuarios del riego por goteo. Sin embargo, algunos avances recientes en la introducción de equipo de riego de bajo costo, desechable y para una sola temporada, pueden permitir el riego por goteo en algunos cultivos de este tipo. Las secciones siguientes describen cultivos que han sido regados por goteo, y otros que podrían serlo por este método.

Caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)

La caña de azúcar es un cultivo de enraizamiento medio, con la mayoría de las raíces en los 0,6-0,9 m, superior del suelo. Aunque tolerante a la sequía, la planta es muy sensible a ligeros cambios en la tensión de agua del suelo, y reacciona favorablemente con agua de alta temperatura. Campbell y colaboradores (1959) informaron sobre una relación E_T/E_{tanque} , que fluctúa de 0,4 a 1,0, obtenida con las formas convencionales de riego. Se supone que con el riego por goteo los valores máximos no excederán de 0,75.

Con prioridad al corte del cultivo, se acostumbra quemar la parte superior del mismo, la cual no es productiva, para reducir un acarreo innecesario. Los procesos de quema y cortado podrían dañar o incluso destruir cualquier equipo de goteo sito en el campo. Por esta razón se han desarrollado equipos baratos y para una sola temporada. A fin de reducir aún más los costos de equipo por cantidad de caña o por unidad de superficie, se debe plantar en líneas pareadas, lo que implica una tubería de goteros por dos hileras de caña.

El riego por goteo en caña de azúcar fue introducido por la Asociación de Plantadores de Caña de Azúcar de Hawái con el fin de regar económicamente; también ha sido usado en Senegal y Guayana. Se espera que con las prácticas culturales adecuadas, este método de aplicación de agua puede llevar a un ahorro del 25-33% en el consumo de agua de la temporada y aumentar los rendimientos entre un 25-100%. Obviamente, esto revolucionaría toda la industria de la caña de azúcar.

Maní (*Arachis hypogaea*)

El maní es una legumbre bastante pequeña, de 0,45-0,6 m de altura. La forma en que se produce la fruta es única. Después de la polinización, una estructura que se alarga gradualmente denominada espiga, se desarrolla desde la base de la flor y finalmente penetra en la superficie del suelo. La vaina se desarrolla al final de la espiga, a 7,5-10 cm por debajo del suelo, y contiene dos o tres semillas.

El suelo (incluyendo la capa superficial) debe estar húmedo y bien cultivado a lo largo de toda la temporada de crecimiento. Una superficie del suelo compactada o una costra dura impedirán la penetración de la espiga en el suelo y pondrán en peligro el adecuado desarrollo de la vaina. Como en las papas, es importante evitar cualquier práctica cultural que cause compactación, y durante todo el tiempo se debe mantener una baja tensión de agua en el suelo.

El cultivo de maní en suelos livianos, ha sido muy exitoso en Israel, ya que las vainas que maduran en este tipo de suelos tienen la cáscara de color claro, característica deseada en el mercado de exportación.

La ración de agua durante la estación del cultivo es de 500-800 mm y el coeficiente de evaporación oscila entre 0,7 y 0,8.

Mediante los trabajos de investigación, se ha determinado la frecuencia de riego por goteo y las distancias de instalación de las hileras de goteo. A raíz de esta investigación se ha establecido que es posible regar maní por goteo exitosamente, cuando una hilera de goteo riega dos hileras del cultivo y el intervalo entre riegos no excede 4 días.

El método de riego por goteo para maní, no se ha hecho popular todavía, debido al alto costo del equipo e instalaciones. A pesar del hecho que los rendimientos llegan a unos 5.000 kg por hectárea, aún un aumento en el rendimiento no justifica la inversión tan alta.

Algodón (*Gossypium hirsutum* y *Gossypium barbadense*)

El algodón es uno de los cultivos industriales más importantes del mundo. La planta está profundamente enraizada; raíces activas han sido encontradas a profundidades de 1,8 m, brindándole una cierta protección contra la sequía.

El agua empleada durante el período que precede a la floración es más bien poca, particularmente si se da, previo a la plantación, un riego considerable, de tal manera que la capa de suelo, de 0-1,8 m, se encuentre en capacidad de campo. La humedad durante los períodos de floración y anterior a la maduración es más crítica. Un riego excesivo puede aumentar el tamaño de la planta y disminuir la productividad. Un programa de riego inexacto está destinado a reducir el rendimiento del cultivo y producir un producto de calidad inferior.

En 1975 iniciaron en Israel el riego por goteo para algodón en parcelas comerciales. Cálculos económicos demostraron, que solamente la obtención de rendimientos más altos de lo corriente, compensará las altas inversiones requeridas para poner en marcha el sistema de goteo. Los éxitos logrados en la obtención de altos rendimientos en tierras marginales y los resultados de investigación, alentaron la expansión de áreas de riego por goteo. Hoy día, el sistema ya está plenamente aceptado como norma para el cultivo y los rendimientos superan a los 6.000 kg por hectárea de algodón en rama. Un complemento adicional en el rendimiento se hace evidente en la primera floración. Este complemento se expresa principalmente por el incremento del número de motas y menos por el incremento en el peso de la mota.

El riego por goteo empieza con la aparición de la brotación o en el comienzo de la floración. La cantidad del agua de riego es determinada por el coeficiente variable en el estanque de evaporación, que es de 0,6-0,9. El régimen de riego dicta la frecuencia de dos veces a la semana en suelos profundos, medianos y pesados y un riego diario en suelos triturados o livianos.

Con la excepción de la fertilización básica, los fertilizantes son aplicados por medio de la red de goteo, en cada riego o una vez por cada dos riegos. La cantidad de fertilizantes en goteo suele ser más alta de lo corriente, pero este aspecto amerita investigación adicional.

El desarrollo del riego por goteo en algodón causó un desarrollo intensivo y un cambio radical en el equipo e instalaciones de goteo. La aspiración de llegar un largo de fila de 200 m, para facilitar la labranza, causó un aumento de capacidad del tubo de goteo hasta 20 mm, filas de goteo con goteros equipados con reguladores y la transferencia del regulador de presión desde la cabeza de la parcela al punto del comienzo de la fila. La necesidad de introducción al campo de cientos de kilómetros de tubería y luego de su retiro, produjo el desarrollo de goteros emplazados dentro del tubo sin protuberancias y también el desarrollo de sistemas de equipos especiales para el despliegue de la tubería en el campo y de su enrollamiento al finalizar la temporada. Riego por medio de tubería desechable cada año no está siendo practicado, pero se está estudiando la conveniencia económica de utilizar tubería para uso bienal o trienal.

Maíz (Zea mays) y Sorgo (Shorghum vulgare)

Ambos cereales, maíz y sorgo, son cultivados extensivamente y la utilidad por unidad es relativamente baja. La viabilidad del riego por goteo (especialmente utilizando sistemas desechables) es un asunto puramente económico, y hasta este momento los estudios efectuados son insuficientes para establecer si se justifica el alto costo de la instalación de riego por goteo.

Cultivos forrajeros

Los cultivos forrajeros más comunes son la alfalfa (*Medicago sativa*), trébol mestizo (*Trifolium repens*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y pasto del Sudán (*Shorghum sudanese*). En todos los casos, el cultivo cubre totalmente el suelo y, en consecuencia, el riego por goteo no es un método adecuado. Aún más, estos cultivos no son lo suficientemente valiosos para justificar los gastos de instalación, y otros métodos de aplicación de agua (por ejemplo, sistemas de aspersión con "pivot") son muy eficientes y más apropiados.

Maíz forrajero

En contrario a lo dicho acerca del maíz para granos, se acostumbra en Israel

a irrigar maíz forrajera por el método de goteo, con excelentes resultados.

El potencial de producción de materia seca del maíz supera al potencial del pasto Rhodos o pasto Sudán, además su calidad es superior. Sin embargo debido a numerosas dificultades agrotécnicas y especialmente de riego, muchos agricultores preferían cultivar el pasto Rhodos o el pasto Sudán, en vez del maíz forrajero.

Riego por goteo simplifica en gran medida la labor de riego, incrementa los rendimientos y disminuye el uso de agua.

Las prácticas de riego que se consolidaran en Israel son como sigue: Después de la siembra y la fumigación herbicida, se aplica el primer riego por aspersión. El propósito de este riego es de aumentar la humedad del suelo hasta una profundidad de 80 cm, activar sustancias de fumigación y hacer germinar el maíz. Es entonces que se introduce la red de goteo y el primer riego por goteo se realiza a las tres semanas después de la germinación. El último riego por goteo es aplicado aproximadamente una semana antes de la cosecha. El período del cultivo es de 2-3 meses. La cantidad de agua a aplicar se determina según la evaporación de agua en un tanque de evaporación clase "A", cambiándose rápido el coeficiente de 0,3 hasta 1,0 en la época de floración.

La densidad de las plantas es de 100-150 mil por hectárea. El espaciamiento entre los tubos de goteo es de 100-200 cm, de acuerdo con el cultivo y con el tipo de suelo. Los rendimientos alcanzan a 20 toneladas de materia seca por hectárea por época de cultivo y por lo corriente se puede obtener dos ciclos de cultivo en la época del verano. El rendimiento diario de materia seca llega a 230 kg por hectárea y la producción de materia seca por unidad de agua de riego oscila entre 4,6-6,3 kg por cada metro cúbico de agua.

El riego por goteo aplicado al maíz, se parece al riego aplicado al algodón y los mismos criterios están siendo aplicados, en relación al largo del tubo de goteo, tipo de goteros y la ubicación de las válvulas de presión. Es también posible utilizar los mismos equipos para desplegar los tubos y para enrollarlos al finalizar el cultivo.

2.3 Arboles frutales

Los árboles frutales son particularmente adecuados para el riego por goteo, y de hecho, la mayoría de los sistemas de goteo actualmente en uso se encuentran en plantaciones frutales. No hay ningún cultivo arbóreo que no pueda ser regado con este método.

Algunos aspectos que deben tomarse en consideración al planificar un sistema de riego por goteo para árboles frutales son el tamaño del árbol, características radiculares, propiedades del suelo (principalmente el movimiento lateral y vertical del agua), prácticas agrotécnicas y el efecto del estado del agua del suelo en la calidad y cantidad del cultivo. Aunque el método de goteo proporciona la posibilidad de mantener una baja tensión del agua del suelo en la zona radicular, esta condición no es necesariamente una que deba ser establecida; el estado de humedad en la zona radicular de los árboles frutales debe ser mantenido en situación óptima para la producción frutal. La manzana y otros frutos deben sufrir un "stress" en el período más tardío de la fructificación.

En estudios realizados en Australia (F. Black) y en Israel, se encontró que, humedeciendo sólo un 50% de la zona radicular de la planta y manteniendo una baja tensión del agua del suelo con el riego por goteo, se obtendrán rendimientos óptimos. Por tanto, se sugiere que la disposición de los laterales de goteo y el espaciamiento de los goteros sean planificados de acuerdo con el marco de plantación, tal como se indica más abajo.

2.3.1 Arboles densamente espaciados

Muchos tipos de frutos son cultivados empleando un marco de plantación relativamente denso. Es interesante que aunque las plantaciones de cítricos podrían considerarse normalmente como de espaciamiento medio, tanto en Israel como en Australia se están realizando pruebas para introducir árboles enanos, basados en las propiedades genéticas del patrón *P. trifoliata* y utilizando un marco de plantación de 2 m x 3 m.

Así ciertos frutos pueden pertenecer a más de una de las tres categorías, y el esquema de goteo deberá ser diseñado en conformidad.

La vid (*Vitis vinifera*)

La vid ha mostrado una respuesta positiva y definitiva al riego por goteo, y en la actualidad el método de goteo se utiliza más comúnmente para este cultivo que para cualquier otro. La mayor parte de los viñedos regados por goteo están en Australia. Viñedos bien establecidos, regados previamente por métodos de aspersión o gravedad, no han mostrado ningún efecto nocivo cuando se ha introducido el riego por goteo (al contrario, los rendimientos mejoraron inmediatamente). Experimentos realizados por Goldberg, Rinot y Karu (1970) en vides de mesa de siete años de edad (var. Tamr, sobre el patrón 41-B), mostraron un marcado progreso en crecimiento con el riego por goteo. Esto, indudablemente, se debió a la baja tensión del agua del suelo y a la mejor aplicación de fertilizantes a través del sistema de goteo. Todos los tipos de vides (para uso de mesa, pasas y vino) reaccionaron muy favorablemente al riego por goteo. A pesar de la gran variedad de vides y las condiciones en que son cultivadas, existen ciertos principios generales para el régimen de humedad apropiado para esta fruta.

- I La capa de suelo de 0-1,8 m debe encontrarse en capacidad de campo en el momento que la vid sale de su estado de latencia.
- II La vid reacciona muy favorablemente a una baja tensión de humedad del suelo a lo largo de toda la temporada de crecimiento. En el caso de suelos pesados, puede ser necesario incrementar el intervalo de riego (pero no menos de dos riegos por semana) a fin de mantener la aireación del suelo.
- III Durante la producción de fruta es importante mantener un alto nivel de disponibilidad de agua en el suelo. Esto debe relacionarse a propiedades de calidad y prácticas culturales, particularmente en el caso de viñas de vino.
- IV De acuerdo a las prácticas locales, se considera importante imponer un cierto grado de "stress" y reducir las aplicaciones de fertilizantes durante las etapas de maduración del fruto.
- V Puesto que el riego por goteo no humedece al follaje (ni lava los pesticidas), se asegura un mejor estado sanitario de la planta.
- VI Es importante descontinuar el riego en el otoño a fin de evitar un crecimiento tardío anterior a la latencia.
- VII Es posible mejorar la calidad del fruto de ciertas variedades imponiendo un "stress" cuando sea necesario (con el aumento de los intervalos de riego). Sin embargo, estas prácticas no deben recomendarse a menos que se basen en pruebas preliminares.

El marco de plantación normal es de 2 m entre plantas en la hilera y 3 m entre hileras. Modificaciones leves de este marco tienen poca influencia. La disposición normal de los laterales y goteros es: Un lateral (generalmente P.E. de 16 mm) es tendido a lo largo de la hilera, y a lo largo de la tubería se insertan goteros con un caudal de 4 l h y a una distancia de 1 m. Los goteros se ubican de tal manera que uno queda 0,5 m después de la vid. Ningún gotero debe quedar adyacente a una vid. Empleando esta disposición no hay

necesidad de agregar goteros en una etapa posterior.

Con vides adultas se han obtenido buenos resultados cuando las cantidades de riego se basaban en un factor de evaporación de un tanque de $K=0,5$. Durante el primer año se debe aplicar sólo el 33% de la cantidad total. y durante el segundo año, sólo el 66%.

La vid es uno de los cultivos más antiguos y, por lo tanto, las prácticas culturales se basan en la tradición. Se debe tener mucho cuidado en la introducción del riego por goteo.

Platanera (Musa spp)

Muchas especies de esta familia crecen en los trópicos, pero algunas son cultivadas en regiones semiáridas, donde se requiere del riego. En Israel se cultiva una de las especies importantes, *Musa Cavendishii*. La platanera, al ser una planta tropical con hojas grandes y suculentas, es extremadamente sensible a las tensiones del agua del suelo, y responde favorablemente a las bajas tensiones de agua. Con los métodos de riego convencionales (gravedad y aspersión) el único medio de mantener tensiones bajas es regar frecuentemente, y las aplicaciones de agua cada tres a siete días son una práctica común.

Comprensiblemente, estos riegos frecuentes por gravedad tienen como consecuencia un desperdicio considerable. Aunque la necesidad real de la planta es relativamente baja, la forma de aplicación precisa de grandes cantidades de agua (2.000-3.000 mm por temporada) a fin de llenar los surcos o amelgas. Aún con aspersión a cortos intervalos hay una pérdida considerable debida a la evaporación, y se requieren entre 1.500-2.000 mm de agua por temporada.

Con la introducción del riego por goteo se ha logrado una reducción sustancial de agua. Empleando un valor K de 0,60 a 0,75, la aplicación de la temporada se redujo a 600-750 mm, con un marcado incremento en el rendimiento. Asimismo, los cultivos regados por goteo maduraron más temprano. Estos resultados sobresalientes se deben a las bajas tensiones del agua del suelo, posibilitadas por los riegos frecuentes, con la aplicación de fertilizantes en el agua de riego. En suelos pesados puede ser necesario aumentar levemente el intervalo de riego, y las aplicaciones no deben exceder de dos por semana.

El marco de plantación es normalmente de 2 m x 3m. Se coloca un lateral de goteo a lo largo de cada hilera, con goteros de un caudal de 4 l h, y a un metro de distancia, 0,5 m antes y 0,5 m después de la platanera. De tal manera, a cada planta se le suministran dos goteros (como en la vid).

Se supone que con el tiempo todas las plataneras serán regadas con el método de goteo, puesto que este sistema es el más adecuado para simular las condiciones de humedad del suelo típicas de los trópicos, condiciones a las cuales la platanera reacciona muy favorablemente.

La experimentación realizada en el curso de los últimos años demostró que una línea de riego por goteo de un costado de la hilera de la platanera no es suficiente, debido probablemente a la rivalidad que existe entre la planta-madre de plátano y entre las plantas-hijas, situadas del otro lado de la planta madre, donde no les llega el agua en forma adecuada.

Por lo tanto, se ha introducido en Israel el método de dos líneas de goteo por cada hilera de platanal con cuatro goteros por cada árbol. Por otra parte, en las Islas Canarias se emplea el método de gotero múltiple, que mediante tubos de 3 mm lleva el agua al centro de la platanera, desde cuatro direcciones, creando al mismo tiempo un círculo húmedo en su alrededor. Mediante este sistema se ahorra un tubo de goteo, mientras que el costo del gotero múltiple con sus tubos, es igual o hasta más bajo del costo de 4 goteros y por lo tanto se obtiene un notable ahorro en el costo de la red de riego.

2.3.2 Arboles de espaciamiento medio

Cítricos (Citrus spp.)

El cítrico se cultiva en climas tropicales y subtropicales. En Israel, el cítrico se cultiva para la exportación y las variedades principales son las naranjas Shamouti, Naval y Valencia y la toronja. También se cultivan limones, mandarinas y tangerinas. El cítrico prefiere suelos livianos y bien drenados y el marco de plantación es generalmente de 4 m x 6 m. Las características del árbol dependen en gran medida del patrón. El sistema radicular efectivo se extiende hasta una profundidad de, aproximadamente, 0,9 m. Los árboles bien desarrollados presentan una densa masa de raicillas inmediatamente por debajo de la superficie del suelo, de tal manera que es esencial una disponibilidad adecuada de humedad y aireación en la capa superior del suelo.

Los resultados del riego por goteo en cítricos aún no son concluyentes. La razón puede ser que la pequeña área de la superficie del suelo humedecida por los goteros, comparada con los métodos de aplicación de agua que han sido utilizados en el pasado, impide un desarrollo normal del árbol.

En la actualidad se realizan pruebas comparativas a fin de verificar el desarrollo del cítrico cuando se humedecen diferentes áreas de la superficie del suelo. En suelos más pesados el riego por goteo es más favorable.

Toronjas

En Israel se cultiva toronjas en suelos medianos y pesados, en contraste a las naranjas que son cultivadas en suelos livianos.

En este cultivo se han realizado con éxito numerosos experimentos de riego por goteo y el método fue adaptado como norma.

Los experimentos fueron realizados en toronjas de la variedad MARSH sobre rizomas de HUSHNASH (AMARGO). En un experimento de 8 años de duración, se examinó los siguientes parámetros:

- a) que volumen del sistema radicular debe ser humedecido para resguardar el equilibrio entre el suministro de agua y el consumo de agua del árbol y cual es la influencia de humectación parcial sobre el desarrollo y el rendimiento.
- b) con que frecuencia hay que suministrar agua para resguardar el equilibrio entre el suministro de agua y su consumo.
- c) que influencia tendrá el riego por goteo sobre la acumulación y dispersión de nitratos en el suelo, en comparación con el riego por aspersión.
- d) la posibilidad de reducir la ración estacional de agua suministrada por el goteo para la humectación de una parte del sistema radicular, en comparación con el riego por aspersión que humedece la mayor parte del área.

Mediante el riego por goteo en una o dos hileras y mediante el método de aspersión se produjeron tres volúmenes de humectación en el sistema radicular del árbol. Estos volúmenes fueron de 30%, 40% y 70%.

La frecuencia de riego en los tratamientos de goteo fue de 2, 3 y 7 días y en aspersión, de 7, 14 y 21 días.

La presión de agua antes del riego en el área húmeda, en tratamientos de riego de cada 2-3 días fue de aproximadamente 7-10 centibar y en los de cada 7 días la presión fue de 20 centibar.

En el resumen del trabajo, evaluado por H. Bieloraí y sus colegas, se reportó, que el consumo de agua en los tratamientos de goteo fue superior al de aspersión y además, que en los tratamientos de goteo se observó el escurrimiento del 20-30% del agua al por debajo del sistema radicular.

La eficiencia de riego en tratamientos de aspersión fue de 80% aproximadamente.

La dispersión de nitratos fue determinada por la dispersión de la humectación. En los tratamientos de goteo, concentraciones de nitrato fueron encontradas en la superficie del suelo y en el perímetro de la humectación. La concentración de nitratos debajo de los goteros fue pequeña. En los tratamientos de aspersión, concentraciones relativamente grandes de nitratos fueron encontrados en las capas profundas del suelo.

Los nitratos acumulados durante toda la época de riego fueron enjuagados en la época de lluvias. La dispersión de nitratos fue parecida a la dispersión de los cloruros. Su nivel quedó más alto cuando el fertilizante ha sido suministrado en pequeñas porciones durante toda la temporada, lo que causó la disminución del enjuague.

El análisis estadístico de los rendimientos mostró, que no había diferencias pronunciadas entre los tratamientos y entre los métodos de riego examinados.

El rendimiento promedio en todos los tratamientos estuvo de 89 y 99 toneladas por hectárea. Los tratamientos de goteo, que irrigaron cada 7 días en una fila produjeron inferiores rendimientos a los tratamientos donde se irrigó con mayor frecuencia.

La reducción de agua en los tratamientos de goteo, que alcanzó los 20% no han causado estadísticamente una merma en el rendimiento. En la calidad de las frutas no fueron encontradas diferencias reales.

En suelos pesados se recomienda una disposición circular de los goteros alrededor del árbol. Se requieren por lo menos cuatro goteros con un caudal de 4 l h y a una distancia de 1 m del tronco; en suelos medios se deben usar cinco a seis goteros por árbol. En el caso de una plantación joven, recientemente plantada, cada árbol se riega con dos goteros, a 0,5 m de cada lado del árbol.

Aguacate (*Persea americana*)

El aguacate, que es cultivado en zonas tropicales y subtropicales, es altamente sensible a los "stress" de humedad, como también a un contenido de agua en el suelo mayor que el de capacidad de campo. Moore y Richards (1958) establecieron la tensión óptima del agua del suelo en 50 cbr. Se puede suponer que un nivel de humedad que se acerca al de la capacidad de campo, como el obtenido con el riego por goteo, sería beneficioso.

En el sur de California, una de las más grandes áreas de cultivo de aguacate en el mundo, la transformación al riego por goteo ha contribuido a la solución de muchos problemas de disponibilidad de agua en el suelo, y particularmente uno relacionado con podredumbre de raíces por *Phytophthora cinnamomi*. Una disposición circular de los goteros alrededor del tronco del árbol, y a cierta distancia de él (similar a la disposición en cítricos), previene la acumulación de un exceso de humedad cerca del tronco. Aún más, el mantener un contenido de agua en el suelo, levemente inferior a la capacidad de campo, le proporciona al árbol óptimas condiciones de crecimiento.

Frutas caducifolios

Las prácticas del riego por goteo para diversos frutales tales como: manzano (*Malus sylvestris*), peral (*Pyrus communis*), melocotón (*Prunus persica*), albaricoque (*Prunus armenica*) y ciruelo (*Prunus domestica*) son básicamente las mismas. La mayoría se cultivan sin riego, pero con riegos suplementarios cuando transcurren largos intervalos de tiempo entre precipitaciones.

Estos frutales se consideran comúnmente como resistentes a la sequía, y existe una tendencia a desestimar los resultados potencialmente beneficiosos de mantener un alto nivel de disponibilidad de agua en el suelo. Trabajos efectuados en muchas partes del mundo (por ejemplo, en los Estados Unidos, Australia e Israel)

han demostrado un marcado aumento, tanto en la calidad como cantidad cuando los árboles son regados por goteo, o en otras palabras, cuando la tensión de agua del suelo se mantiene baja y los nutrientes se suministran en un nivel óptimo. Los rendimientos de perales y melocotoneros regados por goteo han excedido de 120 t ha.

El espaciamiento normal para árboles deciduos es de 4 m x 4 m ó 4 m x 5 m, y el mejor esquema de riego es una disposición circular de los goteros alrededor del árbol. Puesto que los árboles son caducifolios, se precisa de riego sólo durante el período en que el follaje está presente. Por tanto, el consumo de agua aumenta gradualmente desde el comienzo de la temporada hasta el desarrollo completo del follaje. Se han obtenido buenos resultados cuando los árboles se han regado de acuerdo a un factor K de 0,5.

Se considera una práctica adecuada someter a un leve "stress" a los árboles caducifolios (particularmente, manzanos) cinco o seis semanas con anterioridad a la cosecha. Los frutos de campos regados tienen un alto contenido de agua y bajo de sólidos. La calidad de almacenamiento disminuye con un alto contenido de agua y una acidez más baja. El imponer un "stress" gradual durante el período anterior a la cosecha restituye la calidad del fruto y, al aplicarlo al final de la temporada, mejora la calidad de conservación del fruto.

2.3.3 Arboles ampliamente espaciados

Pecán (*Carya illinoensis*)

El pecán es un miembro importante de la familia del nogal, que crece con éxito en la zona sur de los Estados Unidos (Texas, Nuevo México, Arizona y California), en Israel y en ciertas zonas de Australia. Es un árbol grande, que alcanza una altura de 15 m o más. El marco de plantación es de 10 m x 10 m.

El pecañ es un árbol muy fácil de cultivar en suelos bien aireados y fertilizados. Ensayos realizados en Israel han demostrado que el árbol reacciona muy favorablemente a las bajas tensiones de humedad del suelo proporcionadas por el riego por goteo.

Con los métodos de riego convencionales, el pecañ alcanza una producción completa al cabo de siete años de la plantación. Se sostiene que el uso consuntivo es alto (llegando a los 1.200-1.500 mm de agua por año). Los autores han observado que al regar los árboles por goteo (con $K=0,5$ y aplicaciones de fertilizantes a través del sistema), los árboles alcanzan la madurez más temprano, produciendo cerca de 30 kg de nueces en el cuarto año y aumentando a 50 kg en el séptimo año, con el uso de 600-750 mm de agua.

Puesto que el pecañ es un árbol grande, requiere un lateral, con ocho o incluso diez goteros (4 l h) espaciados equitativamente alrededor del árbol, en un círculo de 120-150 cm de radio. Los goteros deben permanecer en su posición original para evitar cambios en la distribución de las raíces.

EL CONTROL AUTOMATICO DEL RIEGO CON SISTEMAS COMPUTARIZADOSPOR: Dr. B. Gornat

Los sistemas computerizados se ocupan de todas las funciones vitales de la irrigación: la cantidad de agua, caudal presión de agua y condiciones ambientales tales como velocidad de viento, temperatura del aire etc., se monitorean en forma continua durante cada ciclo de irrigación. El control de la inyección de fertilizantes, la velocidad del flujo de agua y la corrección de fallas se realizan automáticamente. Este control de 24 horas asegura la realización de la irrigación con óptima eficiencia.

En Israel diferentes organizaciones y especialmente la compañía MOTOROLA ha estado diseñando, desarrollando y produciendo sistemas de irrigación controladas - por computadora por espacio de años. Estos se desarrollaron originalmente para los Kibutz (Fincas Agrícolas Comunes). Estas fincas cuyas característica es la agricultura intensiva, en cientos, o incluso millares de hectáreas, poseen sistemas hidráulicos complejos que alimentan a una variedad de cultivos.

El sistema computerizado para el control automático del riego de grandes fincas y complejos agrícolas (como Kibutz) compuesto de tres partes principales: La unidad maestra de control (Mcu), La unidad de campo (Fu), El enlace de comunicaciones entre ambos.

La unidad maestra de control consiste en una computadora con memoria de 32 K palabras (32 KBYTES), una consola de control (CRT) con su teclado y su pantalla de visualización asociada y un diagrama métrico de toda la zona controlada.

La Mcu guarda información tal como los límites prefijados de operación o sea la cantidad de agua por parcela. Los límites de presión, los límites de velocidad de flujo, la velocidad del viento y la temperatura del aire. Al mismo tiempo la computadora almacena en su memoria que sucedió, cuando y donde, y produce una salida impresa legible en el terminal del teletipo. En caso de racionamiento de agua, el mejor cultivo es el mejor potencial de ingresos puede recibir la irrigación óptima estableciendo el orden secuencial apropiado para la apertura de válvula. La

computadora emite informes continuos describiendo los acontecimientos diarios, semanales y de temporada para contribuir a la planificación de irrigación y fertilización futuras.

La unidad de campo recibe ordenes transmitidas por la "Mcu" y las ejecuta de acuerdo con ello. Las unidades de campo esta emplazadas en el campo, usualmente - cerca de las válvulas generales que controlan. La información de los sensores de campo, incluso la temperatura del ambiente, la presión del agua, la velocidad del viento etc. Son recolectados por la unidad de campo y transmitidos a la unidad maestra de control para su procedimiento. La unidad recibe mediciones en tiempo real de la información vital ante mencionada de las unidades de campo, las compara con los límites deseados y modifica de acuerdo con ello el ciclo de irrigación. El Mcu emite controles de las unidades de campo para operar las válvulas de agua, la inyección de fertilizantes etc.

Según el programa de irrigación o como medida de emergencia debida a alguna anomalía detectada por los sensores. Si se produce una perdida o reventon de cañería, la "Mcu", ordena a la unidad de campo detener el suministro de agua a la zona en cuestión, impidiendo que se produzcan daños y ahorrando agua. En caso de haber fuertes vientos o lluvia la irrigación se detiene. En casos de calor extremo o heladas, se pone en marcha la irrigación de emergencia. En forma similar, la computadora este programada para ocuparse de toda circunstancia anomalía.

El enlace de comunicaciones, es un cable subterráneo único de tres conductores, transporta energía además de datos de mando y control de la "Mcu" a la "Fu", a través de este cable se transmiten indicaciones que retornan de la unidad de campo al centro de control.

Toda la energía eléctrica para alimentar la "Fu", se transporta mediante este cable; así no se requieren fuentes de alimentación en el campo.

Un sistema de irrigación controlado permite la administración precisa de una red de irrigación mediante la supervisión y monitoreo constante de todos los factores que afectan la irrigación. De este modo se pueden efectuar diversos ahorros, como: ahorro de agua debido a la detección inmediata y asilación automática de reventones de cañería y perdidas, mejor utilización de mano de obra, mayor rendimiento de cultivos debido a irrigación y fertilización sincronizadas, todo lo cual brinda una mayor rentabilidad.

PERSPECTIVAS DE LOS SISTEMAS DE RIEGO
A PRESION EN LA REPUBLICA MEXICANA

ING. HERMES NOYOLA ISGLEAS
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE IRRIGACION
UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO
CHAPINGO, MEXICO
M E X I C O

Con la intención de revisar hacia donde se conduce el país en lo que se refiere a sistemas de riego, particularmente en sistemas presurizados, el Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo a mi cargo, convocó a una mesa redonda a profesionales especialistas en este tema, a efecto de que se analizara y discutiera en torno a las perspectivas de estos sistemas en México, dado que ante la necesidad de incrementar la producción de los cultivos para satisfacer las crecientes necesidades del país, se ha planteado un apoyo gubernamental para el establecimiento masivo de estos sistemas, -- que contribuyan como opción alterna, a lograr el propósito anteriormente citado, y en virtud de que se trata de grandes inversiones, se consideró necesario efectuar un análisis de dicho planteamiento, mismo que se realizó y cuyas conclusiones se indicarán posteriormente, -- previo análisis de las características del país y de los antecedentes que en materia de riego a presión se tienen a la fecha así como de las perspectivas que los propios recursos naturales plantean.

La problemática que se describirá, seguramente será coincidente con la que se presenta en muchos otros países con sus propias y particulares variantes naturales, de manera que en todos los casos se observa que existen limitantes en la disponibilidad de los recursos --

naturales, por lo que se requiere que de ellos se efectúe una explotación y aprovechamiento óptimo y eficiente. Paralelo a esto, se observa un más agudo problema de crecimiento demográfico, lo que origina un incremento en el número de satisfactores que producir, para dar atención a las crecientes necesidades alimentarias de esa población; pero por otro lado, se observa la disminución paulatina de los recursos naturales no renovables que también contribuyen en la satisfacción de necesidades, teniéndose que buscar sustitutos a ellos.

Todo lo anterior ha obligado al hombre a tener que evolucionar su tecnología, para provechar mejor los recursos que en muchos casos, el ritmo de crecimiento de ella es menor a la producción de satisfactores o servicios necesarios, originándose problemas de índole económico y social a los países que se encuentran en esa situación. Ante la evolución tecnológica se ha observado su repercusión también, en lo que se refiere a la destrucción ecológica o contaminación ambiental progresiva; es decir, no sólo ha servido para el bien común, sino que por su descontrol se ha propiciado la destrucción de recursos naturales que son de gran importancia para la supervivencia del hombre, y en muchos casos, dicha acción es irreversible.

Distribución de los Recursos Naturales del país.

Recursos Hidráulicos

En términos generales respecto al agua con que cuenta el globo terrestre, se estima que cerca del 98% de ella corresponde al agua

salada que forman los océanos, y el 2% restante corresponde a las aguas dulces o frescas; es decir, sin sales solubles.

CONCEPTO	MILLONES DE KILOMETROS CUBICOS	PORCENTAJE
OCEANOS	1 321,89	97.23
HIELOS Y GLACIARES	29.19	2.15
ACUIFEROS SALADOS	4.17	0.30
ACUIFEROS FRESCOS	4.17	0.30
LAGOS Y LAGUNAS	0.13	0.01
RIOS Y ATMOSFERA	0.01	0.001
T O T A L	1 359.56	99.99

FUENTE: COMISION INTERNACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE. Gulatti.
1955.

Respecto al agua salada, como es sabido sólo con tratamientos muy costosos y para uso humano es aprovechable, y del 2% correspondiente al agua dulce, que significa cerca de 33,500 millones de Km^3 , el 87% de ésta se encuentra en forma de hielo, estando prácticamente sin posibilidades de ser aprovechada.

El resto del agua dulce que se encuentra en estado líquido y disponible está distribuida de la siguiente forma:

- 1) En la atmósfera, bajo la forma de nubes y de precipitación, estimándose esta última de 811 mm como media anual mundial.
- 2) En las corrientes de ríos, lagos y lagunas, mismas que provienen de las lluvias y de los deshielos.
- 3) En los mantos de aguas subterráneas, a los que ha llegado por filtración del escurrimiento de los ríos y de la precipitación.

De lo anterior se puede analizar que del total del agua en el mundo, sólo una mínima parte de ella es aprovechable.

En un reciente artículo de Robert P. Ambrogi (1980), al analizar el agua que participa anualmente en el ciclo hidrológico del mundo, señala que se evaporan de los océanos 430,000 Km³ de agua anualmente y 70,000 de los continentes, por lo que las aportaciones a la atmósfera suman 500,000 Km³ anuales. Por otra parte, considera que anualmente se precipitan en forma de lluvia, nevadas, etc., la misma cantidad, de la cual al caer se distribuyen 390,000 Km³ en el mar y 110,000 Km³ en los continentes. De lo anterior se desprende que anualmente por efectos del ciclo hidrológico, se transportan cerca de 40,000 Km³ de agua de los océanos a los continentes; sin embargo también analiza que eliminando los volúmenes de agua que en avenidas no son aprovechados y el flujo directo de los acuíferos al mar, sólo 14,000 Km³, de los cuales 5,000 fluyen a zonas tropicales no habitadas, y los 9,000 Km³ restantes son los únicos que tienen actualmente la posibilidad de ser aprovechados anualmente.

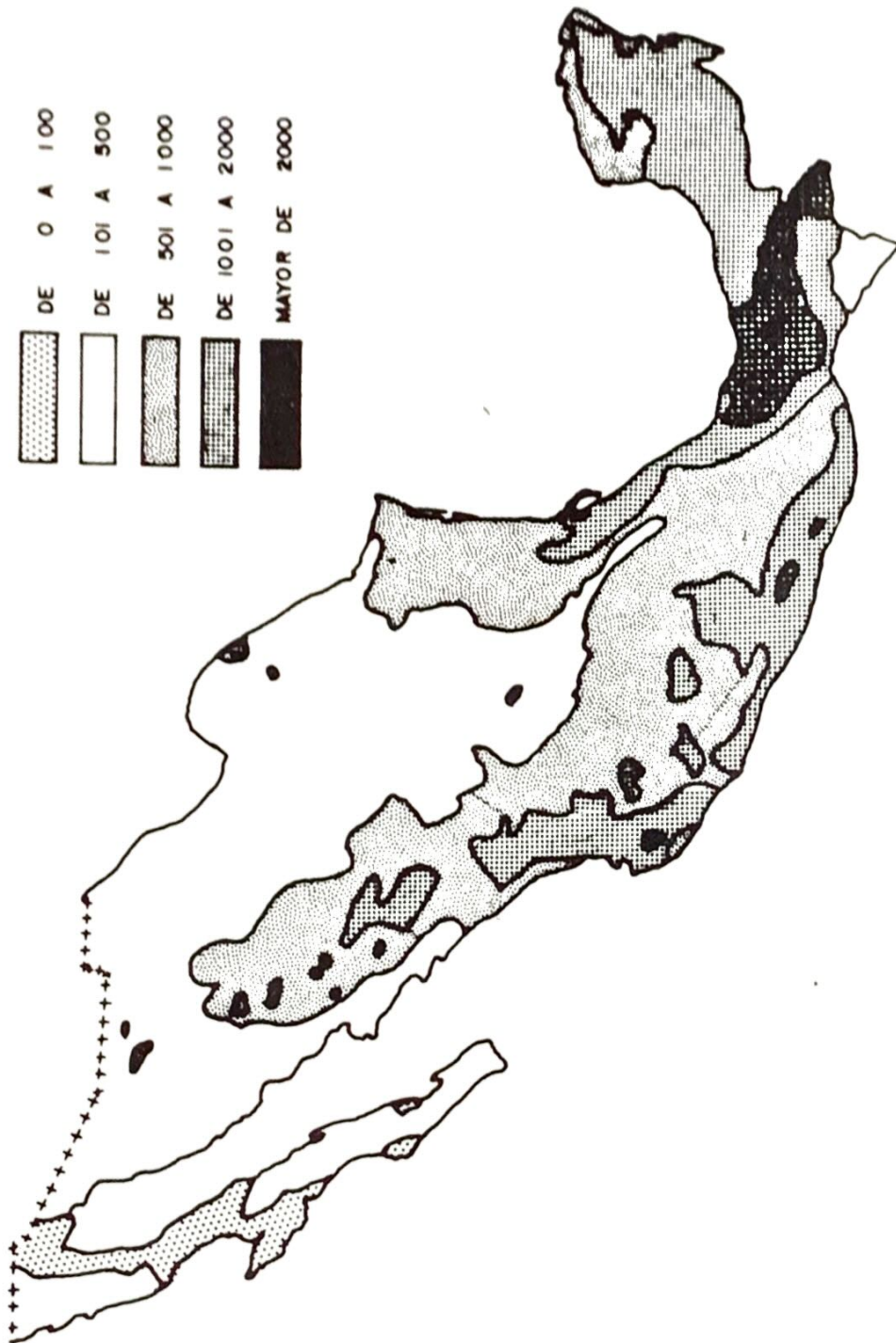
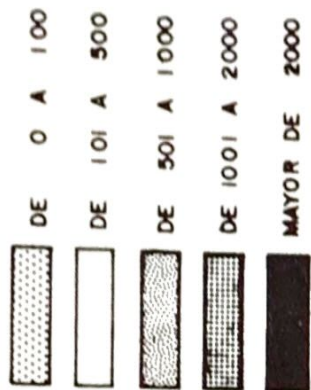
En lo que a la República Mexicana se refiere y es el caso, se tiene que llueve en ella un promedio de 780 mm anuales, equivalentes a 1.53 billones de m^3 de agua, de los cuales se considera que el escurrimiento anual disponible a través de los ríos, es del orden de la cuarta parte, es decir 410,000 millones de m^3 de agua disponible renovable anualmente.

El Plan Nacional Hidráulico de 1975, reporta que existen -- 14,000 millones de m^3 de agua almacenada en forma natural en lagos y lagunas, que con la almacenada en vasos construidos con capacidad de 107,000 millones de m^3 , se tendría un volumen de agua disponible de -- 121,000 millones de m^3 .

También se cita que con relación al agua subterránea, donde por su propia naturaleza, su cuantificación es menos precisa, indicándose que en una cobertura estudiada de cerca del 40% del territorio -- del país, se cuenta con un volumen renovable de entre 5 a 10,000 millones de m^3 . Sobreexplotando esa misma área, sería posible extraer entre 60 a 80,000 millones de m^3 no renovables y que podrían emplearse para fines de riego de cerca de 400,000 Ha durante no más de 20 -- años.

La lluvia que se presenta dentro del territorio nacional, -- su distribución en él es sumamente variable, de manera que existen -- grandes superficies al norte del país y que comprenden a más del 50% del total del mismo, donde las precipitaciones medias anuales son inferiores a los 500 mm, en tanto que en la región sur del país los va-

PRECIPITACION ANUAL EN mm



PRECIPITACION

Fuente: S.R.H. Plan Nacional Hidráulico, 1975, México.

lores de precipitación son superiores a los 2,000 mm.

En las extensas regiones del norte del país, que son áridas y semi-áridas, el almacenamiento artificial principalmente se utiliza para el riego, en tanto que en las del sur y sureste que son húmedas, se utilizan para la generación de energía eléctrica y control de avenidas para la prevención de inundaciones.

PORCENTAJES DE SUPERFICIE TOTAL EN MEXICO EN RELACION A
LA PRECIPITACION

C L I M A	PRECIPITACION MEDIA ANUAL mm	SUPERFICIE DEL TERRITORIO %
ARIDO	< 400	62.8
Semi-Arido	400 - 600	31.2
Semi-húmedo	600 - 1500	4.5
Húmedo	> 1500	1.5

Fuente: Aguilera Contreras y Martínez Elizondo, Relaciones Agua-Suelo-Planta- Atmósfera, UACH. Chapingo, Méx. 1980.

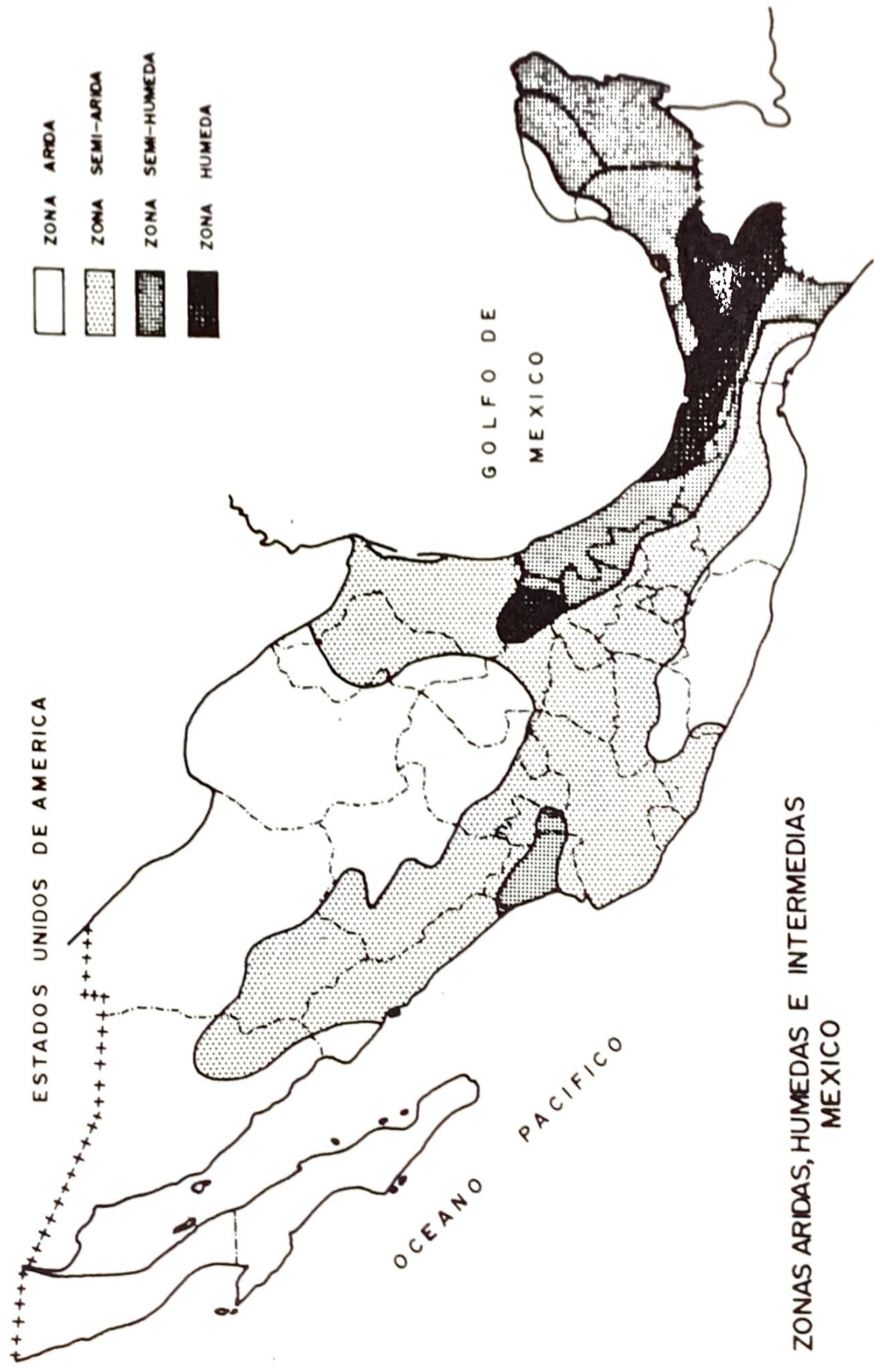
Se tiene ocasiones en que ante condiciones de disponibilidad similares de aguas superficiales y subterráneas en una zona dada, se prefiera el uso de esta última, en virtud de que es de mejor calidad y su disponibilidad es uniforme a lo largo del año, requiriéndose sin embargo para ello, de políticas de extracción bien definidas, de manera que los acuíferos no se sobreexploten y las recargas lle --

guen a ser menores que las extracciones, como se tiene lugares de -- gran importancia agrícola como lo son: la Comarca Lagunera en los Estados de Coahuila y Durango; la Costa de Hermosillo en el Estado de Sonora y en el Valle de México, casos en los que además se ha presentado intrusión salina del mar y hundimientos en los terrenos.

Uso del Suelo

La República Mexicana se encuentra localizada entre los paralelos $14^{\circ}30'$ y $32^{\circ}45'$ latitud norte, que la sitúan bajo la acción directa de dos grandes fajas naturales: la desértica del norte y la tropical del sur. Precisamente la situada al norte, corresponde a la latitud en la que en otros continentes se extienden o se encuentran localizados los grandes desiertos del mundo como el Sahara, Irán, Arabia, etc.. Estas grandes fajas de zonas áridas y desérticas, están localizadas al norte y sur del Ecuador entre las latitudes de 19° y 33° , donde más del 70% de las regiones norte y centro de México se encuentran localizadas.

Como se observa en México existe un claro desequilibrio entre los recursos naturales suelo y agua, ya que en tanto en el norte del país se localizan enormes llanuras y altiplanicies donde el agua escasea o no existe, por lo que por el momento son poco favorables -- para ser utilizados con fines agrícolas, en el sur y sureste de la -- república, las condiciones topográficas montañosas restringen su utilización o aprovechamiento y que sí reciben agua suficiente.



ZONAS ARIDAS, HUMEDAS E INTERMEDIAS
MEXICO

Fuente: Orive A. Adolfo 1970. La Irrigación en México, México.

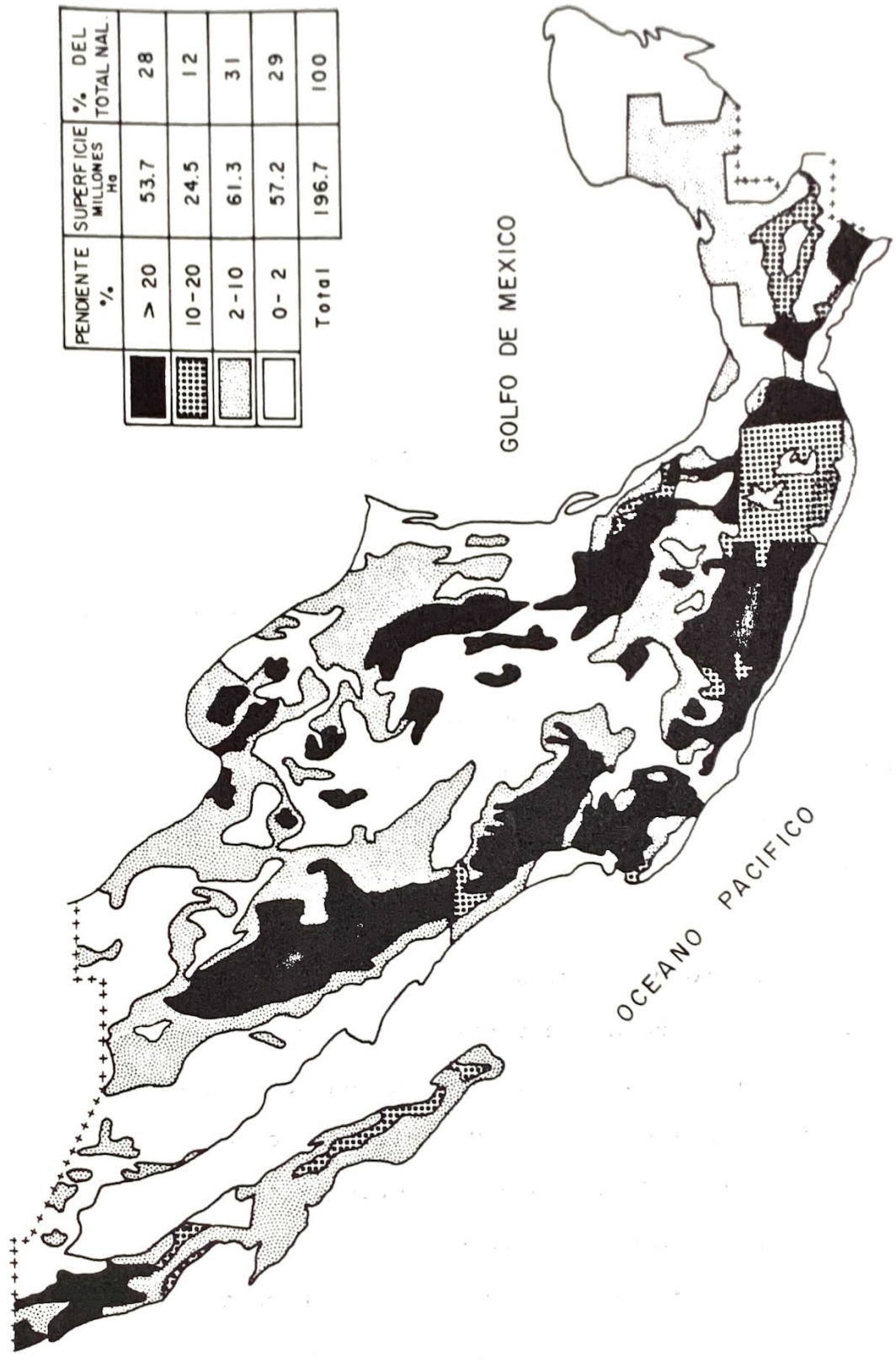
RELACIONES AGUA - SUELO

M E X I C O

REGION	% DEL TOTAL DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS	% DEL TOTAL DE LOS RECURSOS TIERRA
SUR	63.78	11.17
CENTRO	23.86	15.67
PENINSULA DE YUCATAN	5.48	19.74
NOROESTE	5.27	16.82
NORTE	1.59	32.30
BAJA CALIFORNIA	0.02	4.30
T O T A L	100.00	100.00

Además de lo anterior, cerca del 30% de la superficie del país tiene pendientes mayores del 20%; más del 10% se encuentra con pendientes entre 10 y 20%; el 31% entre 2 y 10% y el 29% abajo del 2% de pendiente.

Como podrá observarse las características peculiares que tiene la República Mexicana en lo que a suelos se refiere, hace que se observe una reducida superficie agrícola laborales y que como se analizará, escasamente llega al 12% de la superficie total del país.



PENDIENTE %	SUPERFICIE MILLONES Ha	% DEL TOTAL NAL.
> 20	53.7	28
10-20	24.5	12
2-10	61.3	31
0-2	57.2	29
Total	196.7	100

CLASIFICACION DE PENDIENTES

Fuente: Plan Nacional Hidráulico 1975, S.A.R.H., 1976, México.

El régimen pluvial de la mayor parte de México se caracteriza por un largo período seco, que comprende desde el mes de octubre hasta fines de mayo, en junio empieza la época de lluvia, aumentando su frecuencia e intensidad hasta un máximo en el mes de septiembre, - excepto en el mes de agosto donde se presenta una disminución de lluvia y aumento en la temperatura.

De la información citada se desprende la importancia que para México tiene el estudio de las zonas áridas, dado que como se indicó comprenden la mayor parte del país, con la consideración también, que precisamente estas superficies corresponden a regiones muy pobladas y que por lo tanto, acarrearán serios problemas de subsistencia.

Acertadamente el autor mexicano Angel Bassols cita que: "Si algún recurso debe cuidarse y ganarse en esta República sedienta, es el agua de sus ríos, lagos, lagunas, depósitos subterráneos y embalses artificiales".

Con el objeto de precisar la superficie del país que es susceptible de ser utilizada con fines agrícolas, es necesario señalar que la superficie de la República Mexicana es de 196.7 millones de hectáreas, de las cuales tenemos que eliminar cerca del 85% como ya se indicó, es decir 170 millones de hectáreas, fundamentalmente debido a la situación orográfica por corresponder a superficies no cultivables, tales como desiertos y montañas. De esta manera se concluye, que sólo se cuenta con el 15% disponible, o sea 30 millones de --

h ctareas como área cultivable potencialmente, de las cuales, como se analizar  con mayor detalle, 5 millones se encuentran bajo riego; es decir, sólo el 2.5% de la superficie total del país se cultiva bajo riego.

CRECIMIENTO DEMOGRAFICO

Como se había citado anteriormente, las zonas áridas y semi-áridas de México presentan densidades de población importantes, pero aún sin restringirse el análisis a ellas y refiriéndose ahora a la población total del país, se puede observar que a diferencia de países con una población muy superior a la de México, como lo son: China, India, Rusia, Japón, etc., el crecimiento demográfico observado en los últimos 30 años es sorprendentemente mayor en México que en los países citados, de forma tal que en dicho período China tuvo un incremento del 90%, Rusia del 27.4%, Estados Unidos del 41.43%, Japón del 36.30% etc., México lo tuvo del 159'56%, pues teniendo en 1950 una población de 25'791,000 habitantes, en 1978 se elevó a la cifra de 66'944,000.

Como se podrá observar, el crecimiento demográfico del país es alarmante por los efectos de subsistencia consecuentes. Según el censo de 1980, el país cuenta con una población de 73'482.000 habitantes y se estima que para el año 2000, esta cifra se elevará a 139'000.000 de habitantes; es decir, el doble de la actual población, en consecuencia el doble de personas que alimentar.

Analizando la población económicamente activa dentro de la actividad agrícola, se observa que de 1950 a 1978 el número de ésta

POBLACION EN MILES DE HABITANTES

PAIS	1950	1978	8Δ
CHINA	463,500	880,190	89.90
INDIA	360,000	660,976	83.60
RUSIA	205,000	261,200	27.41
E.U.A.	154,380	218,340	41.43
BRASIL	53,377	119,473	123.83
JAPON	84,300	114,898	36.30
MEXICO	25,791	66,944	159.56

FUENTE: S.A.R.H. ECONOTECNICA AGRICOLA. 1980. MEXICO

se mantiene casi uniforme, a pesar del enorme crecimiento de la población total, y que de esta población económicamente activa, si en 1950 la dedicada a la agricultura era el 57.8%, para 1978 baja al 26.6%, - lo que quiere decir que entre 1950 y 1978:

- a) La población total crece en forma desmesurada;
- b) La población económicamente activa dedicada a la agricultura, se mantiene uniforme;
- c) La relación entre la población total del país con la que es económicamente activa dedicada a la agricultura, es cada vez más grande.

Lo anterior significa que a pesar de que el crecimiento de la población del país en 30 años fue del 159.6%, la población económicamente activa dedicada a la agricultura se mantiene uniforme en dicho período, de tal forma que al no haber mayor población que se incorpore a la actividad agrícola, la alternativa de obtención de el doble de alimentos será incrementar necesariamente la productividad.

SUPERFICIES BAJO CULTIVO

Se había indicado que de los cerca de 200 millones de hectáreas del país, solo 30 eran susceptibles de ser puestas bajo cultivo; en base a lo anterior y a la necesidad de producir cada vez una mayor cantidad de alimentos básicos, para una población cada vez mayor, el gobierno de México ha diseñado varios programas tendientes a incrementar la superficie bajo cultivo; de ésta, la de riego y de ambas, mayores incrementos en la productividad elevando el rendimiento --

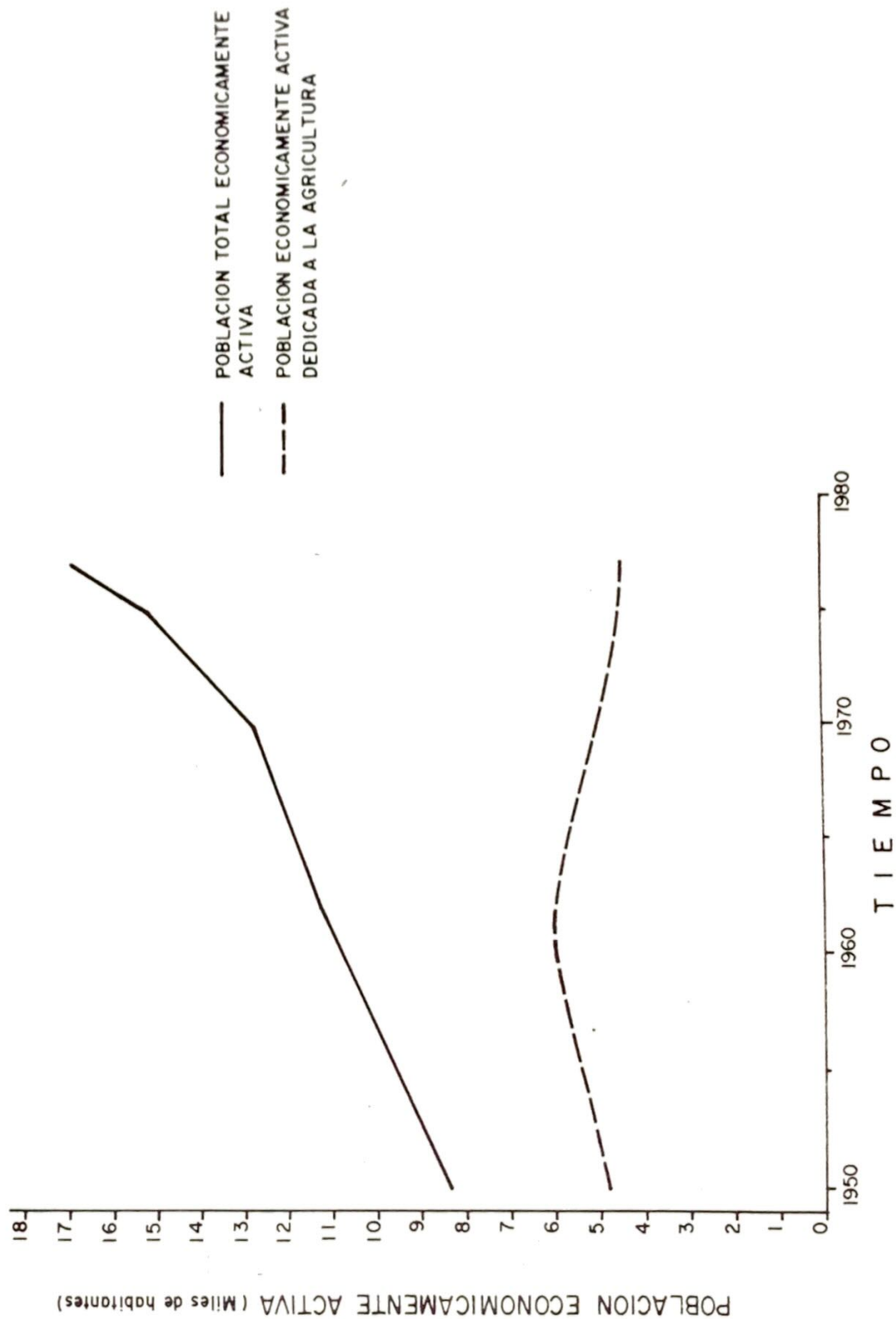
POBLACION TOTAL* Y ECONOMICAMENTE ACTIVA DEDICADA A LA AGRICULTURA EN MEXICO.

PAIS	1 9 5 0		1 9 7 8		% DEL TOTAL ACTIVA
	POBLACION TOTAL	ECONOMIC. ACTIVA EN LA AGRIC.	POBLACION TOTAL	ECONOMIC. ACTIVA EN LA AGRIC.	
CHINA	463,500	—	880,190	252,259	61.4
INDIA	360,000	—	660,976	165,204	64.6
RUSIA	205,000	—	261,200	23,806	18.1
E.U.A.	154,380	6,645	218,340	2,327	2.4
BRASIL	53,377	9,453	119,473	14,942	39.7
JAPON	84,300	17,880	114,898	7,372	12.5
MEXICO	25,791	4,824	66,944	4,539	26.6

* MILES DE HABITANTES

FUENTE: S.A.R.H. ECONOTECNIA AGRICOLA. 1980. MEXICO

POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA EN MEXICO



SUPERFICIE COSECHADA DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS EN MEXICO
MILES DE HECTAREAS

PRODUCTO Y GRUPO	1950	1960	1970	1975	1979
GRANOS BASICOS ALIMENTICIOS					
TRIGO	644	840	886	778	586
ARROZ	106	143	150	257	121
MAIZ	4,328	5,558	7,440	6,694	5,604
FRIJOL	969	1,326	1,747	1,753	1,035
SEMILLAS OLEAGINOSAS					
SOYA	—	4	112	344	216
AJONJOLI	171	203	274	219	244
CARTAMO	—	—	175	363	429
PRODUCTOS INDUSTRIALES					
CEBADA	230	240	224	286	296
SORGO	—	116	921	1,445	1,397

FUENTE: S.A.R.H. ECONOTECNIA AGRICOLA, 1980. MEXICO.

de los cultivos. En un breve análisis del comportamiento de las superficies bajo cultivo, se observa que la superficie total cosechada en 1960 era de 12'323.000 hectáreas, para 1970 esta cifra asciende a cerca de 15'000,000 de hectáreas, estimándose que para el presente ciclo agrícola se tendrá bajo cultivo 18'173,000 hectáreas, de las cuales 13'112,000 serán de temporal y 5'061,000 serán de riego.

En general, analizando el comportamiento de las superficies cosechadas de los principales cultivos en México, como lo son el trigo, maíz, frijol, arroz, ajonjolí, cártamo, etc., se observa que éstas tiendan a incrementarse paulatinamente desde 1950 hasta 1975, donde se empieza a observar bajas en las cantidades bajo cultivo, debido a la crisis económica y política por la que atraviesa el país y que particularmente se refleja en el sector agrícola. Posterior a lo anterior, se observa una recuperación en las áreas cosechadas hasta 1979, año en que sufre una caída significativamente mayor debido a siniestros climáticos (sequía y heladas tempranas), bajando en consecuencia la producción de los cultivos. Posterior a ello vuelve a recuperarse la situación, con augurios de lograr la autosuficiencia en algunos granos para 1982.

Es de particular significación observar que para la mayoría de los cultivos, el rendimiento medio por hectárea de 1950 a la fecha tiende a la alza, hecho de gran importancia, ya que ello ha equilibrado o favorecido a que las crisis agrícolas sean menos severas, y en condiciones normales, satisfagan las crecientes demandas internas

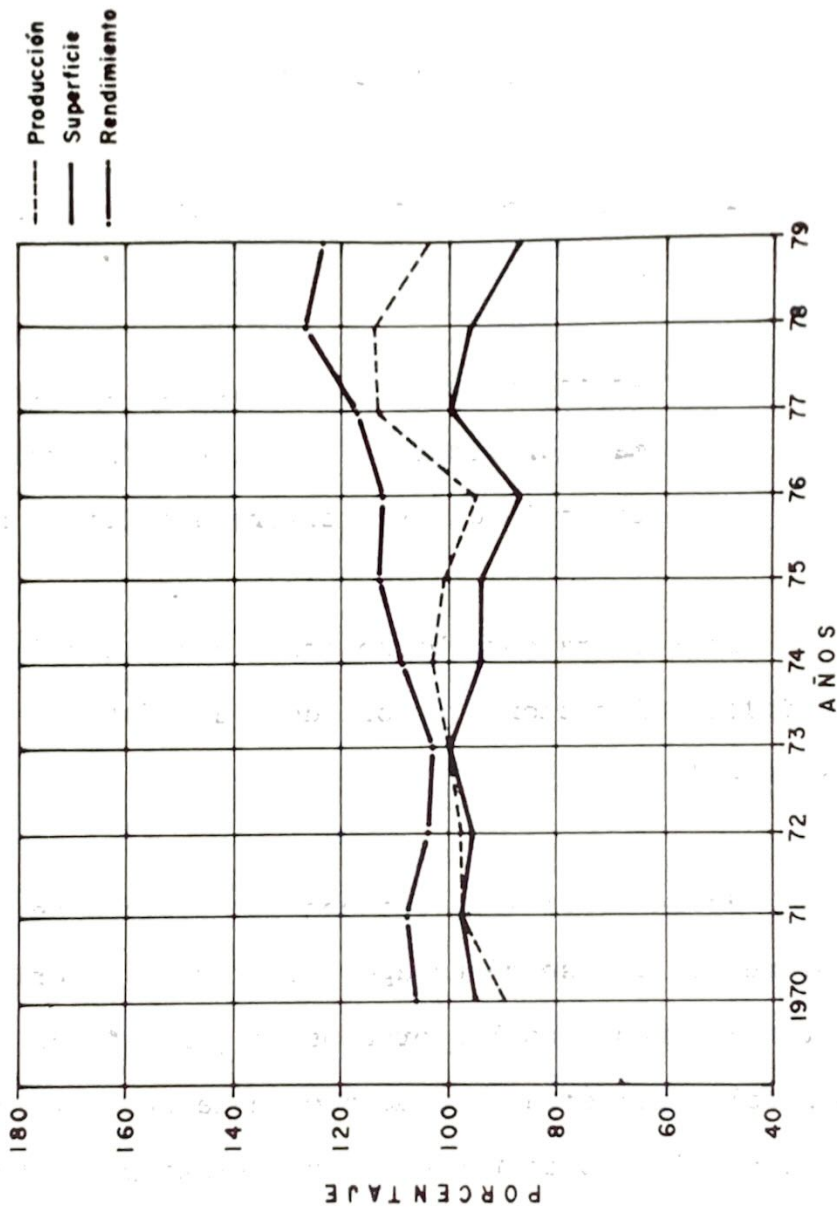
RENDIMIENTO MEDIO DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS EN MEXICO
KILOGRAMOS POR HECTAREA

PRODUCTO Y GRUPO	1950	1960	1970	1975	1979
GRANOS BASICOS ALIMENTICIOS					
TRIGO	911	1,417	3,020	3,596	3,894
ARROZ	1,764	1,294	2,700	2,790	3,314
MAIZ	721	975	1,193	1,262	1,474
FRIJOL	258	398	529	586	567
SEMILLAS OLEAGINOSAS					
SOYA	—	1,250	1,920	1,741	1,546
AJONJOLI	468	636	655	505	549
CARTAMO	—	—	1,646	1,466	1,436
PRODUCTOS INDUSTRIALES					
CEBADA	704	750	1,063	1,538	1,706
SORGO	—	1,802	2,983	2,855	2,998

FUENTE: S.A.R.H. ECONOTECNIA AGRICOLA. 1980. MEXICO.

INDICES PARA LOS PRINCIPALES CULTIVOS A NIVEL NACIONAL MEXICO

BASE 1968 = 100



Fuente: Dirección General de Economía Agrícola,
S.A.R.H., México.

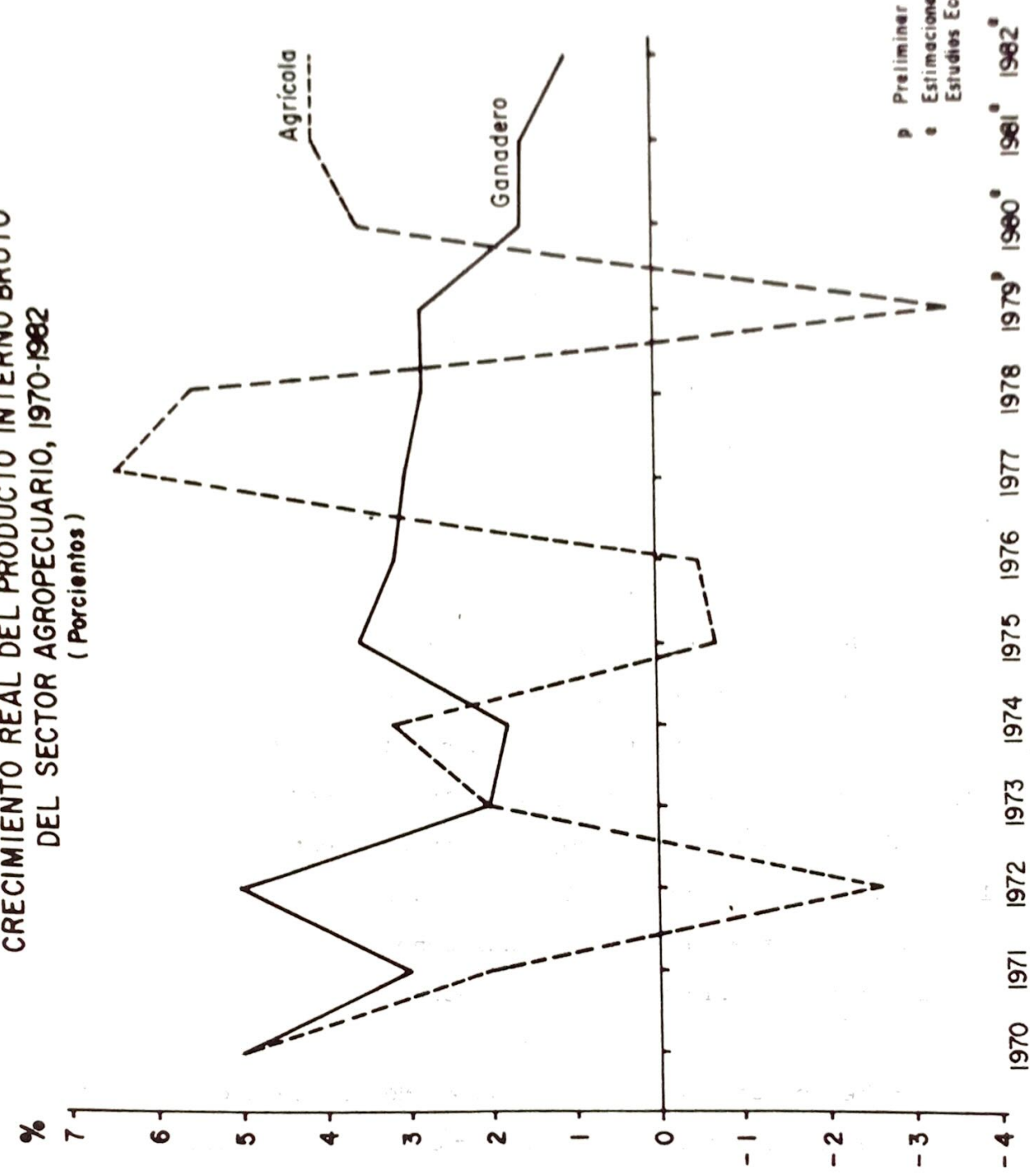
Expresado lo anterior en términos del producto interno bruto del sector agrícola (P.I.B.), es de observarse la recuperación de éste, de 1979 punto más bajo a la fecha, lo anterior debido a la estrecha relación con varios factores:

- 1o. Una mejoría en las condiciones climatológicas de 1979 a la fecha.
- 2o. Acciones gubernamentales tendientes a estimular en forma significativa la producción agrícola, particularmente en lo que se refiere a cultivos básicos.

Se resalta como hecho importante, que de la asignación del gasto público al sector agrícola de 1980, ésta se vé incrementada en un 53% para 1981.

Es de considerar que con las medidas del gobierno federal, al implementar que se dé un apoyo sólido en materia de obras de infraestructura; aumento en los precios de garantía de los granos y productos agrícolas principales; aumento en la superficie bajo cultivo, tanto de temporal como de riego; mayor asistencia técnica a los agricultores; mayores protecciones económicas a los agricultores con --tra los siniestros climatológicos; otorgación mediante agrupamientos de agricultores, de créditos baratos y oportunos; reducción de --los costos de insumos, etc., acciones que se están dando en la --práctica con la implementación del Sistema Alimentario Mexicano, el

CRECIMIENTO REAL DEL PRODUCTO INTERNO BRUTO DEL SECTOR AGROPECUARIO, 1970-1982 (Porcientos)



p Preliminar
 e Estimaciones del Departamento de Estudios Económicos de Banamex

Fuente : Banco de México, Informe anual 1979.

Programa de Productos Básicos y la Ley de Fomento Agropecuario, se logre que se recupere y estabilice la economía de este sector.

SISTEMAS DE RIEGO PRESURIZADOS

Habiendo observado que los recursos naturales de la República Mexicana no son exuberantes y que existen muchas y grandes limitaciones; así como problemas sociales, demográficos, económicos, etc., también se infiere que sólo con un uso adecuado y racional de los recursos del país, será posible enfrentar el panorama retador e ineludible, de las crecientes necesidades de satisfactores para el pueblo de México.

Por lo que a la irrigación se refiere y particularmente a los sistemas de riego a presión, fin último de análisis y conclusión del presente trabajo, también se ha observado que tiene su participación e importancia en la problemática descrita, en virtud de que su participación en la producción y productividad dentro del sector agrícola, es cada vez mayor e incluso, se plantea a estos sistemas como una alternativa importante para la optimización del recurso natural agua, cuando ésta se encuentra en condiciones escasamente disponibles y en situaciones de suelo y cultivos adecuados.

De hecho las experiencias que en México se tienen con relación a sistemas presurizados, particularmente en riego por goteo, se remontan escasamente a una década, teniéndose un mayor impacto y desarrollo en el país los sistemas de riego por aspersión.

Según las últimas cifras de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, indican que para 1979 se tenía una superficie de 72,000 hectáreas bajo riego con sistemas presurizados, de los cuales 65,000 eran de riego por aspersión y 7,000 de riego por goteo. De este último se citan como principales experiencias las de Calvillo, -- Aguas Calientes; Hermosillo, Son.; Comarca Lagunera en Coahuila y Durango y en Mexicali, Baja California Norte.

Las estadísticas de 1980 indican que la superficie total bajo riego presurizado fue del orden de 105'000 hectáreas, de las cuales 95'000 fueron de riego por aspersión y 10'000 de riego por goteo.

Cabe señalarse que no existe una política definida en torno a la implementación y control de estos sistemas, de tal forma que la mayoría de los casos han sido acciones aisladas y por cierto, no muy afortunadas.

En lo que se refiere a las fuentes de abastecimientos para los sistemas presurizados, la fuente principal son las aguas subterráneas, aunque se tienen casos de abastecimiento con aguas superficiales.

A efecto de apoyar y complementar las cantidades de agua para riego disponibles superficialmente, el gobierno ha implementado un "Programa Nacional de Perforación de Pozos", el cual contempla en su primera etapa ya cumplida, la perforación de 2,400 pozos y una segunda etapa en proceso, de 1,200 pozos adicionales.

Como es de suponerse, con ellos se establecerán unidades de riego por gravedad y los casos que se indique técnicamente, se utilizará sistema de riego presurizado.

ACUIFEROS

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ha creado un "Banco Nacional de Información Geohidrológica", con la finalidad de que se de a conocer todos los aspectos de presencia, cuantificación, desarrollo y disponibilidad de explotación de las aguas subterráneas existentes en México.

La cuantificación del número de pozos, los volúmenes renovables de los almacenamientos subterráneos por recargas, los volúmenes de extracción por explotación, así como los datos relacionados a los acuíferos sobreexplotados, en equilibrios y subexplotados, están fundamentados en la recopilación de información efectuada hasta 1977, -- mismos que integran dicho Banco de información.

La República Mexicana presenta como ya se indicó gran variedad de contrastes, en los aspectos geohidrológicos se presenta la misma situación, por lo que se ha tenido que recurrir a la regionalización de los acuíferos en función a los mismos, teniendo de esta forma:

a) Acuíferos en Aluviones Recientes. Corresponden a mantos de aguas subterráneas en valles, cuencas, planicies costeras y deltas diseminados en muy diferentes regiones del país, señalando de entre -

las principales: depósitos deltáicos del Valle de Mexicali donde actualmente existen sistemas de riego presurizado, con la perspectiva de ampliar en 1,700 hectáreas más, dichos sistemas; planicies de Ciudad Obregón en Sonora, donde particularmente en Hermosillo, se cosechan 118'000 hectáreas con 498 pozos con gastos promedio de 120 l.p.s. como única fuente de agua, donde debido a una sobreexplotación de hasta un 130% superior a las recargas, se ocasionan fuertes abatimientos en los niveles del acuífero, incluso con una marcada intrusión salina del mar. También en este caso se consideran medidas para elevar la eficiencia en el uso del agua con mejores métodos de riego, como el de goteo, teniéndose instalados hasta 1978 1,648 hectáreas en vid, nogal, durazno y otros frutales. El Estado de Sonora tiene 1,568 pozos en operación, con las vedas regionales y restricciones correspondientes por las causas señaladas; planicies de la Paz, B.C.S.; Bajo Río Bravo en Tamaulipas; Coatzacoalcos en Veracruz; cuencas cerradas de la Región Lagunera de Coahuila y Durango, donde la sobreexplotación de los acuíferos ha originado el abatimiento de los mantos y por ello, elevado los costos de métodos tradicionales de riego superficial, buscándose otros más eficientes y productivos como el de riego por goteo, incrementándose a 700 hectáreas bajo riego por este sistema para huertos frutícolas; Cuenca del Valle de México y Centrales de Oaxaca.

b). Acuíferos en Cuencas Terciarias. Estos acuíferos presentan dos variantes, los Continentales, que corresponden a la meseta central de México y el noroeste del país, en sitios localizados en los estados de Chihuahua, donde se encuentran sistemas de riego por aspersión lateral móvil como en Flores Magón; el Estado de Durango;

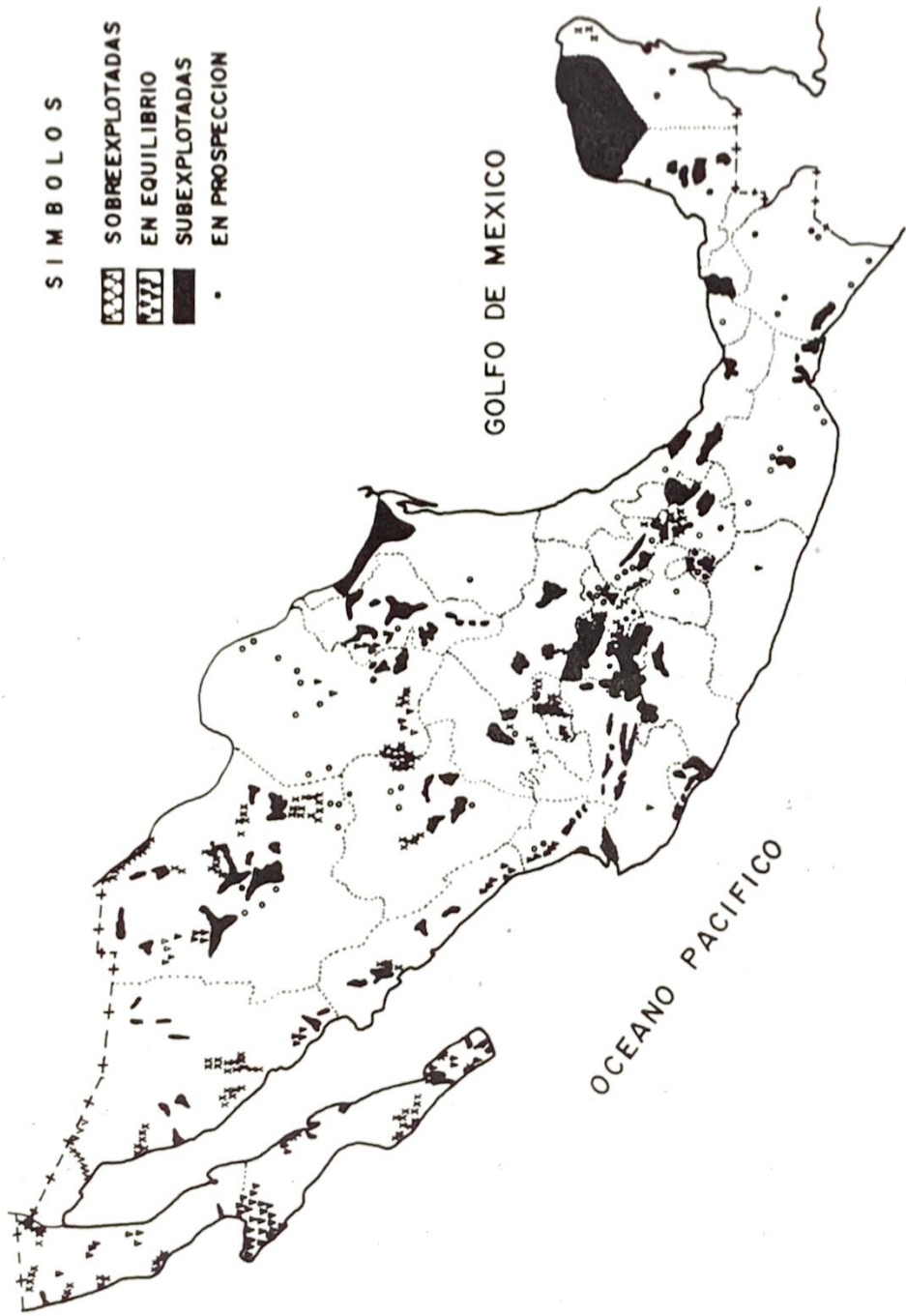
en Zacatecas; en Aguascalientes donde el riego por goteo tiene una antigüedad de cerca de 10 años, con una buena experiencia en la operación de dichos sistemas, cuya fuente principal de explotación agrícola es la extracción de agua subterránea de 1,852 pozos, que representan el 70% del volumen anual en el Estado, teniéndose como principales cultivos bajo riego por goteo en más de 3,000 hectáreas, durazno, vid, guayaba y aguacate; en esta variante están también los Estados de San Luis Potosí; Querétaro y Guanajuato.

Sobre el eje neovolcánico que cruza el territorio mexicano, entre los Estados de Veracruz, Jalisco y Colima, se explotan eficientemente grandes acuíferos. En este último Estado existen las perspectivas de establecer cerca de 3,500 hectáreas bajo riego por aspersión.

La otra variante de acuíferos en cuencas terciarias es el terciario marino, producto de las perforaciones petroleras, mismas que han propiciado la localización de acuíferos de buena calidad en la planicie del Golfo de México en las áreas de Minatitlán, Veracruz; Jalapa y Tabasco.

En la Península de California se encuentran las dos variantes, en los Valles de la Misión, San Quintín, Vizcaino y Santo Domingo, donde existen sistemas de riego por goteo en cerca de 4,000 hectáreas principalmente en vid, con perspectivas a que esta superficie se incremente en forma importante.

Acuíferos en Calizas.- Cubren grandes extensiones del país con acuíferos muy importantes en los Estados de Coahuila; parte sur -



ZONAS GEOHIDROLÓGICAS

Fuente: Atlas Geohidrológico, 1978, S.A.R.H., México.

de los Estados de Nuevo León y Tamaulipas; Chiapas, donde existen sistemas de Pivote Central; Hidalgo, Oaxaca, Yucatán, Quintana Roo y Campeche.

Con relación al potencial de los acuíferos existentes, y del análisis de la información nacional y por estados del número de pozos, volúmenes de extracción y recargas de los acuíferos, se infiere que existe un gran potencial explotable de aguas subterráneas en ellos, para ser destinada a fines de riego; en muchos de esos casos por sus gastos de extracción, al establecimiento de sistemas de riego por aspersión y goteo.

Ante la necesidad de establecer unidades de producción mediante sistemas presurizados, particularmente sistemas de pivote central, con el desconocimiento tecnológico y operativo de los mismos y, sin la existencia de una supervisión oficial, se han instalado en México muchas decenas de estos equipos en varios lugares, sin que hasta la fecha y después de varios años hayan podido funcionar.

Lo anterior se ha presentado como consecuencia de que no se efectúan los estudios necesarios, que demuestren la necesidad de un sistema determinado para las condiciones del caso, siendo las propias compañías vendedoras las que diseñan los equipos, originándose su inutilidad, por una inadecuada selección de sistema, de diseño o deficiencias en la operación de los mismos.

Si bien es cierto que las compañías son las que diseñan los equipos, también lo es, que no existan mecanismos oficiales que regulen la actividad de dichas empresas, ni los técnicos oficiales suficientes y capacitados para que la supervisen, así como tampoco existe

la investigación sistemática necesaria de dichos sistemas de riego para las condiciones de México.

Por lo anterior y dado que existan las condiciones propias para el desarrollo de los sistemas presurizados en México, se considera necesario el establecimiento de mecanismos de control de las empresas en cuestión, a efecto de que para el establecimiento de un sistema de esta naturaleza, se requiera invariablemente de:

- a) Determinación de las características de la fuente de abastecimiento.
- b) Estudios técnicos previos que dictaminen el tipo de sistema a usarse (topografía, suelo y cultivo, climatología, etc.)
- c) Estudio económico de la inversión.
- d) Garantía de refacciones y servicio oportuno por parte del vendedor.

Finalmente y ante las perspectivas del establecimiento de sistemas presurizados en México en mayor escala, será necesario que Instituciones de Enseñanza e Investigación en Irrigación, establezcan con el gobierno federal programas de investigación en métodos de riego, en todas sus variantes, de tal forma que en base a ello se normen y fijen criterios, para el establecimiento de sistema de riego para las condiciones del país. Paralelo a lo anterior, será necesario el establecimiento de un programa de formación y capacitación de técnicos especialistas en el diseño, instalación y operación de los sistemas; para que, integrados después al sector oficial, puedan supervisar los proyectos en cuestión y asesorar a los agricultores en la operación eficiente de los equipos, con el consecuente beneficio que ello representa.

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

POTENCIAL DE ACUIFEROS

NOMBRE	NUMERO DE POZOS	RECARGA ANUAL MILLONES DE m ³	EXTRACCION ANUAL MILLONES DE m ³	POTENCIAL EXPLOTABLE	
				NUMERO DE POZOS	MILLONES DE m ³ POR AÑO
ESTADOS UNIDOS MEXICANOS	132898	7323	16333	5554	3715
CONFIRMADO	87344	7323	8551	1296	961
ESTIMADO	45554	-	7782	4258	2754
1. AGUASCALIENTES	1402	332	338	95	25
CONFIRMADO	1355	332	332	0	0
ESTIMADO	47	-	6	95	25
2. BAJA CALIFORNIA	3476	922	1268	60	30
CONFIRMADO	2761	922	1237	0	0
ESTIMADO	715	-	31	60	30
3. BAJA CALIFORNIA SUR	1889	250	442	22	20
CONFIRMADO	1741	250	440	22	20
ESTIMADO	148	-	2	-	-
4. CAMPECHE	79	-	60	260	185
CONFIRMADO	0	-	0	0	0
ESTIMADO	79	-	60	260	185
5. COAHUILA	4525	64	818	145	61
CONFIRMADO	2418	64	650	55	21
ESTIMADO	2107	-	168	90	40
6. COLIMA	888	244	115	160	127
CONFIRMADO	888	244	115	160	127
ESTIMADO	0	0	0	0	0

ANEXOS

H

N O M B R E	NUMERO DE POZOS	RECARGA ANUAL MILLONES DE m ³	EXTRACCION ANUAL MILLONES DE m ³	POTENCIAL EXPLOTABLE	
				NUMERO DE POZOS	MILLONES DE m ³ POR AÑO
7. CHIAPAS	2132	—	149	125	73
CONFIRMADO	0	0	0	0	0
ESTIMADO	2132	—	149	125	73
8. CHIHUAHUA	7828	378	1549	651	467
CONFIRMADO	3402	378	352	125	65
ESTIMADO	4426	—	1197	526	402
9. DISTRITO FEDERAL	26820	620	1085	0	0
CONFIRMADO	26820	620	1085	0	0
ESTIMADO	0	0	0	0	0
10. DURANGO	4289	178	859	108	78
CONFIRMADO	2447	178	128	62	50
ESTIMADO	1842	0	731	46	28
11. GUANAJUATO	5416	450	1027	369	357
CONFIRMADO	3266	450	574	87	87
ESTIMADO	2150	0	453	282	270
12. GUERRERO	203	—	33	345	114
CONFIRMADO	0	0	0	0	0
ESTIMADO	203	—	33	345	114
13. HIDALGO	3923	243	43	144	160
CONFIRMADO	3863	243	32	110	140
ESTIMADO	60	—	11	34	20
14. JALISCO	4334	—	281	386	363
CONFIRMADO	0	0	0	0	0
ESTIMADO	4334	—	281	386	363

II

N O M B R E	NUMERO DE POZOS	RECARGA ANUAL MILLONES DE m ³	EXTRACCION ANUAL MILLONES DE m ³	POTENCIAL EXPLOTABLE	
				NUMERO DE POZOS	MILLONES DE m ³ POR AÑO
15. MEXICO	22300	341	537	0	0
CONFIRMADO	22300	341	537	0	0
ESTIMADO	0	0	0	0	0
16. MICHOACAN	756	0	136	245	142
CONFIRMADO	0	0	0	0	0
ESTIMADO	756	-	136	245	142
17. MORELOS	583	0	646	310	159
CONFIRMADO	0	0	0	0	0
ESTIMADO	583	-	646	310	159
18. NAYARIT	678	60	58	115	105
CONFIRMADO	310	60	3	51	57
ESTIMADO	368	-	55	64	48
19. NUEVO LEON	11149	0	491	215	167
CONFIRMADO	0	0	0	0	0
ESTIMADO	11149	-	491	215	167
20. OAXACA	8371	65	69	205	102
CONFIRMADO	6254	65	11	80	39
ESTIMADO	2117	-	58	125	63
21. PUEBLA	2033	474	261	218	137
CONFIRMADO	1452	474	214	165	100
ESTIMADO	581	-	47	53	37
22. QUERETARO	1047	0	1150	41	41
CONFIRMADO	0	0	0	0	0
ESTIMADO	1047	-	1150	41	41

III

N O M B R E	NUMERO DE POZOS	RECARGA ANUAL MILLONES DE m ³	EXTRACCION ANUAL MILLONES DE m ³	POTENCIAL EXPLOTABLE	
				NUMERO DE POZOS	MILLONES DE m ³ POR AÑO
23. QUINTANA ROO CONFIRMADO ESTIMADO	256 0 256	— 0 —	150 0 150	156 0 156	111 0 111
24. SAN LUIS POTOSI CONFIRMADO ESTIMADO	1627 974 653	81 81 —	182 51 131	135 45 90	45 30 15
25. SINALOA CONFIRMADO ESTIMADO	1056 571 485	314 314 —	556 345 211	45 5 40	26 3 23
26. SONORA CONFIRMADO ESTIMADO	4093 2063 2030	913 913 —	2704 1822 8882	179 39 140	147 35 112
27. TABASCO CONFIRMADO ESTIMADO	500 0 500	— 0 —	35 0 35	130 0 130	35 0 35
28. TAMULIPAS CONFIRMADO ESTIMADO	986 974 12	269 269 —	98 78 20	65 50 15	72 50 22
29. TLAXCALA CONFIRMADO ESTIMADO	563 370 193	310 310 —	65 51 14	300 100 200	135 50 85
30. VERACRUZ CONFIRMADO ESTIMADO	1181 457 724	600 600 —	371 206 165	165 110 55	114 65 49

N O M B R E	NUMERO DE POZOS	RECARGA ANUAL MILLONES DE m ³	EXTRACCION ANUAL MILLONES DE m ³	POTENCIAL EXPLOTABLE	
				NUMERO DE POZOS	MILLONES DE m ³ POR AÑO
31. YUCATAN CONFIRMADO ESTIMADO	5000	—	300	100	75
	0	0	0	0	0
32. ZACATECAS CONFIRMADO ESTIMADO	5000	—	300	100	75
	3515	215	458	60	42
	2658	215	288	30	22
	857	—	170	30	20

FUENTE: ATLAS GEOHIDROLOGICO. S.A.R.H. 1978. MEXICO.

BIBLIOGRAFIA

1. Cámara Nacional de Comercio de la Ciudad de México. México. 1980.
Compendio de datos y estadísticas de México. México. 1980.
2. Banco Nacional de México, S.A. Examen de la situación económica de México. Varios números. México. 1981.
3. Banco Nacional de México, S.A. México en cifras 1970-1979. México. 1980.
4. Noyola Isgleas, Hermes. Salinidad Agrícola. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx. México. 1975.
5. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Plan Nacional Hidráulico. - 1975. Primera parte. México. 1976.
6. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Memorias del - II Seminario Nacional sobre Riego por Goteo. Región Lagunera Coah. y Dgo. México. 1978.
7. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. El uso del suelo en la República Mexicana. Atlas. México. 1976.
8. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Atlas Geohidro lógico. Banco Nacional de Información Geohidrológico. Mé- xico. 1978.
9. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Econotecnia - Agrícola. México. 1980.

FERTILIZACION EN EL RIEGO LOCALIZADO ^{1/}LEON NIJENSOHN ^{2/}

Palabras clave: fertilización, riego por goteo, riego localizado, fertilización.
 Key words: fertilization, trickle irrigation, fertigation.

INTRODUCCION

La agricultura es una de las más antiguas manifestaciones del quehacer humano y su nacimiento es, al mismo tiempo, causa y efecto del arranque de la etapa que inicia realmente el devenir histórico a través de la acumulación cultural y el desarrollo de la civilización. En efecto, es a la agricultura que debemos la posibilidad de la constitución de comunidades humanas estables, sedentarias, que superando las formas primigenias de organización de las horas de cazadores, y complementando con las suyas nuevas el horizonte de inquietudes de las tribus pastoriles, han servido y sirven de fundamento a la creación cultural y a la vida económica.

Pero así como es de antigua su existencia, es también relativamente reciente la comprensión conceptual, y el esfuerzo paralelo necesarios para transformar a la agricultura de actividad primitiva, peligrosamente aleatoria y subdesarrollada, y llevarla hasta un nivel comparable al de una industria altamente tecnificada.

En este sentido, el ideal que marca el Norte de la investigación y de la experimentación agrícolas es el de llegar a conocer, cuantificar y controlar, todos los factores que determinan la cantidad y calidad de la producción, de modo de conseguir el máximo beneficio económico de la explotación, hoy del suelo y, el día de mañana, de la energía solar todavía ineficientemente aprovechada cuando la hidroponía en vasta escala y la fotosíntesis bajo control ocupe, el lugar de privilegio al que están predestinadas.

1/ Relato presentado en el panel sobre "Avances en la Microirrigación", dentro del IV Seminario Latinoamericano de Riego por Goteo, Barquisimeto, Venezuela, 21-25 de junio de 1981.

2/ Profesor Titular de Edafología y Director del Instituto de Suelos y Riego, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

El rendimiento en cantidad y calidad de materia seca vegetal es función doble de la planta en sí, es decir, de su potencialidad genética, y de los factores que inciden sobre ella favoreciendo o perjudicando las manifestaciones útiles, para nosotros, de esa potencialidad.

Estos factores pueden esbozarse integrando los siguientes grupos y sub-grupos:

1. Factores Necesarios y Positivos: necesarios porque su presencia es indispensable, y positivos cuando se encuentran en magnitudes y relaciones adecuadas, algunas de ellas optimizables por el manejo agrícola. Por su campo preferente de acción pueden dividirse en:
 - i) Los que afectan al ambiente aéreo: energía radiante (básicamente luz y calor), anhídrido carbónico y humedad relativa.
 - ii) Los que afectan al ambiente edáfico o radial: agua, nutrimentos minerales, aire y arraigabilidad.

2. Factores Negativos: su presencia es indeseable pero, sino todos también algunos de ellos son controlables. Siguiendo el criterio empleado anteriormente se pueden agrupar en:
 - i) Los que afectan al ambiente aéreo: accidentes climáticos o meteoros destructivos (heladas, granizo, vientos, etc), agentes bióticos parasitarios y patógenos y polución atmosférica.
 - ii) Los que afectan al ambiente edáfico o radical: salinidad, sodicidad, toxicidad específica, y agentes parasitarios y patógenos.

En este panorama complejo que hemos mostrado sólo como marco de referencia, ya que únicamente podría ser abarcado en su integridad por el total de las ciencias agrarias y sus disciplinas conexas, el tema que específicamente nos ocupa puede ser ubicado como una parcialidad dentro del manejo de los factores del ambiente edáfico.

Pero antes de entrar de lleno a su tratamiento creemos útil enfatizar que la optimización de la provisión hídrica y de la nutrición mineral - objetivos del riego localizado la una y de la fertilización con él asociado la otra- no tienen sentido por sí mismos, sino en relación con el sujeto productivo, es decir con la especificidad biológica del vegetal cuya producción pretendemos. Lamentablemente, no existe siempre una clara visión de esta conexión entre quienes trabajan tratando de modificar al sujeto, y aquellos que lo hacemos sobre el ambiente.

Ese frecuente divorcio relativo entre genetistas y, en nuestro caso, edafólogos e hidrólogos agrícolas, explica el que no se logren muchas veces los topes posibles de producción alcanzables si se buscara simultáneamente la optimización del ser biológico y de las condiciones que posibilitan su máxima expresión potencial.

IMPORTANCIA ESPECIAL DE LA FERTILIZACION EN EL RIEGO LOCALIZADO

Si entendemos por fertilización la práctica de poner a disposición de la planta el o los nutrimentos necesarios, en magnitud y relación adecuadas, para una óptima alimentación mineral, y eso mediante el agregado de cantidades complementarias a las provistas por el suelo, o el medio enraizante en general, existen claras razones para que en el caso de cultivos bajo riego localizado, cualquiera sea la técnica específica empleada (goteo, chorro, pulsos, microaspersión, etc), la necesidad de dicha práctica, así como las probabilidades de respuesta, sean máximas.

La imprescindible complementación del riego localizado con una fertilización acrode, se hizo evidente desde los primeros ensayos con estas nuevas metodologías de riego; tanto que llevó a autores de reconocida idoneidad en la materia a enunciar expresiones tan terminantes como que "las condiciones de crecimiento con Riego por Goteo, pero sin apropiadas (es decir, frecuentes) aplicaciones de nutrimentos, son peores que las obtenidas bajo aplicaciones convencionales tanto del agua como de los nutrimentos", y que el Riego por Goteo y la fertilización forman una unidad y que debe incluirse a ambas prácticas o a ninguna" (Goldberg y Rimon, 1974)

Aunque tales afirmaciones pequen, probablemente, de excesivamente rotundas si se consideran cultivos determinados, en años aislados, existen razones objetivas tanto para fundamentar la veracidad de esos asertos a largo plazo, como para explicar las excepciones aparentes que puedan presentarse eventualmente en los cortos lapsos.

Es decir, el riego localizado, por una parte, crea condiciones que, indefectiblemente, llegan a provocar deficiencias nutricias y, por otra, su aplicación exalta durante un cierto tiempo algunas de las propiedades edáficas que influyen positivamente en su fertilidad natural. Esas condiciones y estas propiedades son las siguientes:

1. Limitación del volumen de suelo explorado por las raíces:

Mientras que, como dice Black (1976), la irrigación tradicional, principalmente por razones económicas, involucra la aplicación masiva de agua, generalmente en el lapso más breve posible, y sobre la máxima superficie posible, para constituir una gran reserva hídrica con la cual la planta pueda subvenir a sus necesidades durante el mayor tiempo posible, la filosofía del riego localizado es totalmente diferente.

Tanto para un uso más eficiente de la instalación, como para una mejor respuesta de las plantas, en el riego por goteo el agua se aplica con láminas unitarias mucho menores y frecuencias mucho mayores, generalmente diarias, y afectando un volumen de suelo restringido que ya no pretende, en este caso, servir esencialmente de reservorio, sino de medio a través del cual el agua se infiltra y mueve hacia la raíz de la planta, y a un ritmo que tiende, idealmente, a igualar al de la evapotranspiración.

Este volumen mojado, generalmente no supera el 50% del disponible total, puede ser tan bajo en vid como el 33% (Goldberg et al. 1971) y hasta 30% en citrus (Bielorai, 1977) sin que los rendimientos sean afectados.

En las condiciones de la agricultura regadía de zonas áridas el bulbo así mojado delimita, simultáneamente con la provisión hídrica, también el espacio máximo explorado por las raíces, aunque frecuentemente en suelos de textura fina, y por efectos de la disminución del oxígeno, el sistema radical suele sufrir una restricción adicional que lo lleva a concentrarse en la periferia de dicho volumen mojado (Silberbush et al. 1979), y a ser algo más uniformemente distribuido sólo cuando se aumenta el intervalo de riego (Levin et al. 1979)

En consecuencia, si consideramos que con la aplicación de los métodos de riego tradicionales, manejados racionalmente, el cultivo puede disponer de un volumen de tierra equivalente al total de la superficie que ocupa, - por la profundidad efectiva de enraizamiento - es decir, la potencial específica limitada sólo por el espesor del suelo- en el caso del riego localizado ese volumen puede ser muy considerablemente menor y, proporcionalmente, también será menor la cantidad de nutrimentos actuales y de reserva a su disposición.

2. Mayor precocidad y mayor productividad potencial:

Se ha observado tanto en cultivos anuales como en montes frutales, un adelanto en el desarrollo inducido por el riego por goteo. Por ejemplo: Manzano "Redspur Delicious", en el estado de Washington, floreció un año antes, en comparación con riego por aspersion (Middleton et al. 1979) y en Israel 4 cv. de dicha especie frutal dieron rendimientos comerciales ya al tercer año de plantación (Assaf et al. 1978) con una producción que llegó a 180 toneladas/ha en el 78 año. Esto implica, naturalmente, un mayor ritmo en la absorción de nutrimentos y mayores exigencias en la velocidad de pasaje de las formas de reserva a las disponibles.

Pero más impactantes todavía que la precocidad, son los niveles de producción registrados e informados en la literatura, cuando se optimizaron los suministros de agua y de nutrimentos a través del riego por goteo frente a un cv. adecuado y a un apropiado manejo del cultivo.

Aplicando la Ley de Mitscherlich llamada "De la acción de los factores de vegetación" a través de su conocida ecuación: $\frac{dy}{dx} = (A - y) \cdot c$ (Wilcox, 1937), surge claramente que cuanto mayor es el valor del rendimiento máximo posible "A" tanto mayor será también el incremento de producción "dy" obtenible con un agregado de un factor x ("dx") que no se encuentre en proporción óptima y a cuya acción le corresponde un determinado valor "c" de eficiencia.

En resumen, por la conjunción de la restricción del volumen edáfico enraizable, por una parte, y la mayor precocidad y rendimiento potencial determinados por la optimización de la provisión hídrica, por otra, es mucho más probable en situaciones similares verificar una reacción positiva a la fertilización en cultivos manejados con métodos de riego localizado que bajo sistemas de riego tradicionales.

Sin embargo, como ya se expresó anteriormente, existen también razones que explican que en ciertos casos: vgr. suelos vírgenes o poco explotados o con historia de fertilizaciones y o enmiendas orgánicas de años anteriores, pueda bastar la aplicación del riego por goteo para obtener aumentos importantes de producción sin ser aparentemente indispensable una fertilización paralela.

Es que las condiciones de humedad, cercana a la ideal, que se crean con el riego por goteo bien aplicado en la zona del bulbo húmedo, favorecen

la intensificación de fenómenos asociados a la nutrición mineral los que al realizar las condiciones naturales de fertilidad de ciertos suelos hacen pasajera y innecesario su refuerzo a través del agregado de fertilizantes comerciales.

Una rápida revisión de la influencia del potencial hídrico del suelo en la nutrición mineral podrá aclarar convenientemente el efecto del riego por goteo en el bulbo mojado y en el sistema radical confirmado en él:

- i) A medida que se incrementa el nivel de humedad, desde marchitamiento hasta saturación, se observaron aumentos significativos en la absorción N, P, K y Ca, por parte de plantas de algodón y de soja. Aunque esta relación en la generalidad de los casos fue lineal, en suelos arcillosos se notó una tendencia decreciente cuando el potencial matriz ya se acercaba a cero, es decir, a saturación (Brown et al 1960)
- ii) En maíz se observó que la absorción de P aumentaba linealmente con la concentración, entre 5 y 15 micromoles/l de P en la solución edáfica, pero el coeficiente angular de las rectas de regresión era mayor cuando el potencial matriz correspondió a -0.5 bares que cuando fue de 3 bares (Watanabe et al. 1960). Es decir, que a igualdad de concentración un mayor contenido hídrico favorece la absorción.

Los efectos anteriores pueden ser relacionados con fenómenos tales como:

- i) Aumento relativo de la elongación de raíces en la región de las bajas succiones matrices y, en cambio, disminución paralela del crecimiento en la región de brusca inflexión de la curva que describe el aumento del valor negativo del potencial hídrico con la desorción de agua (Peters y Russell. 1960)
- ii) Siendo la difusión el principal mecanismo del flujo de K y de P desde la solución del suelo a las raíces de las plantas, un mayor nivel de humedad favorece este movimiento, provocado por gradientes de concentración, por dos causas: por el aumento del coeficiente de difusividad, al disminuir la tortuosidad del camino a recorrer y, además, por el aumento de la sección útil de transmisión la que se limita exclusivamente a las películas gruesas de agua aporadas con ella.

iii) La mayor densidad de raíces activas observada dentro del bulbo mojado por el riego por goteo, en comparación con los sistemas radicales más extensos pero más ralos propios de los sometidos a riegos tradicionales, hace que al acortarse los caminos a recorrer por los iones nutricios, entre la solución edáfica y los puntos de absorción, se establezcan gradientes más abruptos que incrementan la velocidad de difusión.

iv) Al acercarse la velocidad transpiratoria a la evaporación potencial, condición ésta ligada a la filosofía del riego localizado por goteo, aumenta naturalmente la cantidad de iones que pueden ser transportados por ese flujo, entre los que revisten especial importancia cuantitativa N (de nitratos y amoniacal) Ca, Mg y Sulfatos. Por este mismo mecanismo se ha explicado el aumento de la absorción de Molibdeno y Cobalto por el trébol, en presencia de suelo con mayor nivel de humedad (Kubota et al. 1963)

v) El nivel hídrico mantenido dentro del bulbo mojado, conseguido por el riego por goteo, puede duplicar, prácticamente, el ritmo de mineralización del nitrógeno orgánico. Por ejemplo, en una experiencia de incubación de suelo durante 10 días, a diferentes niveles de humedad, se comprobó un ritmo de mineralización de 1,4 ug de N por gramo de suelo y por día, en capacidad de campo; mientras que en capacidad de marchitamiento la producción de $N-NO_3$ bajada hasta en 64% de esa proporción (Robinson, 1957)

Este último aspecto puede revestir una cierta importancia en:

i) Suelos con importante reserva de materia orgánica, caso poco probable en áreas áridas o semiáridas de riego:

ii) Cuando se agregan abonos verdes de leguminosas. Esta práctica sería inconveniente, por su difícil rentabilidad, en áreas de aridez persistente a través de todo el año, salvo que la fuente de agua de riego en el período de descanso del cultivo principal, sea accesible y barata. Pero podría sí tener cierta vigencia en zonas de lluvia invernal.

El hecho observado en la experiencia antes citada que aún por debajo del punto de marchitamiento permanente proseguía la nitrificación, aun cuando en una proporción entre el 14% y el 35% de la máxima, indica una posible contribución del volumen de suelo no mojado por el riego localizado a la economía de N del cultivo, a través de lluvias ocasionales que provoquen el transporte de nitratos hasta la zona radical.

Claro es, sin embargo, que en este caso surgiría la complicación que junto con los NO_3 se moverían sales que podrían elevar innecesariamente la succión osmótica dentro del bulbo mojado.

Como balance general de la argumentación desarrolla puede extraerse la siguiente conclusión: ya sea por las mayores exigencias relacionadas con la precocidad y el rendimiento potencial, así como por el más rápido agotamiento de las reservas edáficas accesibles, pero restringidas al volumen mojado, rapidez que resulta justamente de las mejores condiciones de explotación de dichas reservas; por todas las razones expuestas, la fertilización debe ser un complemento indisolublemente unido al riego por goteo para que los rendimientos puedan ser sostenidamente altos en el tiempo. Esto, sin perjuicio que ocasionalmente puedan conseguirse buenas producciones sin fertilización, es que no debe ser interpretado como una posibilidad estable sino como circunstancia de repetición limitada y aleatoria.

FERTIGACION Y SU TECNICA

El riego localizado en general, y el de por goteo en especial, no solamente exige, para cumplir debidamente con sus objetivos de optimizar los rendimientos y la eficiencia en el uso del recursos hídrico, un cambio de mentalidad en cuanto al manejo del agua referido a caudales y frecuencias de aplicación, sino que además de reconocer la necesidad de la fertilización como práctica integrante del sistema, tal como lo explicitamos en el aparato anterior, implica la posibilidad de una nueva vía de suplementación nutrimental a través de la misma infraestructura, de modo de poder llegar a reunir en el mismo espacio edáfico a raíces, agua y elementos de la fertilidad.

Para evitar cualquier confusión ulterior, recordemos que la acepción agronómica de "fertilidad" difere del concepto de "productividad", a pesar de que en el lenguaje común, aceptado por los diccionarios, ambos términos se equivalen. La

productividad, que tiene su expresión cuantitativa en el rendimiento, es un concepto más lato que el de fertilidad, al que engloba, estando este último ceñido estrictamente a todo lo referente a las propiedades del suelo o del medio radical en función de la nutrición mineral. Otros aspectos de la productividad como los estructurales, serán considerados por separado.

Para la aplicación de los fertilizantes a través del sistema de riego, práctica que comenzó a precomizarse con la difusión del riego por aspersión, se acuñó en Europa el término compuesto "fertiirrigación", el que en nuestra lengua tuvo poco eco, ya sea porque la práctica en sí gozó de limitada aceptación, tanto por causas técnicas (heterogeneidad de distribución, pérdidas por volatilización y descomposición, depósitos salinos sobre el follaje y absorción foliar de iones tóxicos, por ej. cloruros) casi como también por razones de idiosincracia idiomática.

En los últimos años ha surgido para el mismo concepto, y tiende a internacionalizarse, una palabra que funde ambas prácticas de manera eufónica y sintética: ella es "fertigación" y en adelante es la que emplearemos al referirnos a la aplicación de fertilizantes a través del riego.

1. Objetivos de la Fertigación:

- i. Hacer llegar los nutrimentos a la zona de máxima actividad radical y en estado fácilmente asimilable por la planta.
- ii. Posibilitar el mantenimiento de niveles óptimos de los distintos nutrimentos, en cada fase del cultivo por medio de aplicaciones oportunas y con la frecuencia necesaria.
- iii. Ahorrar materiales fertilizantes a través de una dosificación exacta y controlable.
- iv. Aumentar la eficiencia de distribución asegurando a cada planta una cantidad similar de producto.
- v. Llevar a cabo los propósitos enunciados con ahorro considerable de mano de obra y de energía, en comparación con los sistemas tradicionales de aplicación de fertilizantes.

2. Características Generales de los Materiales Utilizables:

Para ser distribuidos por los emisores de goteo, los productos empleados deben poseer las siguientes características comunes:

- i. Ser totalmente solubles a la concentración de principio activo en la que circularán a través de la red.
- ii. No producir precipitados, ni reacciones de descomposición ni con los iones presentes en el agua de riego, ni con los aportados por los otros productos con los que se pretende mezclarlos.
- iii. No aportar elementos que directa o indirectamente puedan ejercer un efecto nocivo sobre las plantas, o corroer los materiales de la instalación de riego, o contaminar las aguas de drenaje.
- iv. Ser económicos en función de su efecto probable.
- v. Tener una razonable movilidad dentro del suelo.
- vi. Tener una solubilidad elevada de modo de permitir la confección de soluciones concentradas de reserva y en caso de tener un cierto residuo insoluble ser éste pasible de fácil separación por filtración.
- vii. Tener una elevada concentración relativa del o de los nutrimentos que aporta, de modo que deje el menor residuo salino en el suelo después de la absorción por la planta de los nutrimentos en cuestión.
- viii. Poder ser manipulados sin riesgos excesivos para el operador.

Mientras que las cuatro primeras cualidades definen condiciones "sine qua non", las últimas dos expresan características deseables pero que tienen un valor de juicio que es relativo al costo y al trabajo que ocasionaría superar sus limitaciones, sin ser por eso automáticamente excluyentes.

La solubilidad de los materiales fertilizantes más comunes, así como su contenido en nutrimentos, reacción pH residual, e índice salino, pueden ser consultados en diversas fuentes (Goldberg, Gornat y Rimón, 1976; Medina San Juan, 1979

Jacob y Uexbüll, 1961) por lo que no nos detendremos en ello en forma general, para sí discutir más adelante algunos aspectos particulares al tratar los principales nutrimentos en especial.

3. Equipos y Técnica para la Inyección de los Fertilizantes y su Operación:

La incorporación de las sustancias fertilizantes a la red de riego localizado puede efectuarse mediante distintos tipos de equipos, los que presentan características constructivas y de funcionamiento que pueden hacerlos más o menos adecuados según:

- a) El tamaño de la unidad de riego;
- b) Grado de automaticidad que se pretende en el control de su erogación pre-establecida;
- c) Grado de eficiencia de distribución tolerable y nivel de inversión permitido.

Se han propuesto, y están en uso, implementos inyector-dosificadores que responden a dos grupos:

- a) Aquellos cuya operación es independiente de la energía de flujo del sistema.
- b) Los que sí dependen de ella.

Entre los primeros, y más sencillos, aunque confiables, de los dispositivos, están los recipientes que mantienen en su interior una presión hidráulica constante utilizando para eso el principio del frasco de Mariotte. Su descarga es libre a través de un tubo de pequeño orificio y vierte la solución nutrimental directamente al tanque de agua alimentador del sistema, o a un intermediario. El volumen del recipiente fertilizador no pasa generalmente de 10 a 20 litros, y la calibración de la descarga es fácil, mediante el ajuste de la profundidad sumergida del tubo de comunicación atmosférica. Este sencillo dispositivo se presta admirablemente bien para instalaciones de invernáculo y parcelas experimentales.

También independientes de la energía del sistema de distribución son las pequeñas bombas a diafragma, de tipo laboratorio, accionales eléctricamente y que, succionando de tanques abiertos inyectan la solución fertilizante contra la presión de la cañería troncal.

$$V, \text{ litros} = \frac{F, \text{ kg/ha. } A, \text{ ha}}{C \text{ kg/l}}$$

- iii. Los reservorios contendrán las soluciones concentradas de fertilizantes - deberán ser de materiales resistentes a la corrosión e incapaces de reaccionar con los productos químicos a usar. Los tanques abiertos, no sujetos a sobrepresiones, admiten materiales que aunque también químicamente inatacables, requieren menor resistencia mecánica, lo que unido al menor costo constructivo los hacen considerablemente más económicos.
- iv. La inyección de la solución fertilizante debe siempre preceder a la ubicación de los filtros. A los fines de lograr una buena uniformidad de aplicación ya desde el momento inicial, y un eficiente enjuague final del sistema de distribución, que disminuya el peligro de obturaciones, es recomendable una relación "r", tiempo de fertigación/tiempo de riego total, de 0.8. El 20% del tiempo de riego con agua sola conviene repartido en dos parcialidades iguales, al principio y final del período total de aplicación diaria.
- v. Para el cálculo del caudal de solución nutrimental a inyectar "q", se aplicará la ecuación:

$$"q" \text{ 1/hora} = \frac{F, \text{ kg/ha. } A, \text{ ha}}{C, \text{ kg/l. } r. t, \text{ horas}}$$

donde "t" es el tiempo total en horas establecida y los demás símbolos los mismos que los explicitados en los puntos ii) y v).

- vi. La concentración resultante de un determinado fertilizante en el agua de riego, F_c , estará dada por la fórmula:

$$F_c, \text{ en mg/l} = \frac{F, \text{ kg/ha}}{r. d, \text{ mm}} \cdot 100$$

donde: "d" = mm de lámina de agua total aplicada.

vii. Al final del período unitario de riego, y en el momento de cortarlo, es posible que se verifique una corriente inversa. En los casos que la fuente de alimentación de agua sea también usada para bebida, humana o animal, es importante impedir que se produzca un reflujó que contamine con fertilizante dicha fuente. Con ese objeto siempre deben colocarse válvulas de no retorno tanto cerca del robinete principal del sistema, como del reservorio de la solución fertilizante.

viii. Muchos de los fracasos de ensayos de fertigación, y del elevado error experimental que invalida la significación estadística de los resultados obtenidos, pueden deberse a la heterogeneidad en la distribución de los nutrimentos aplicados como consecuencia de la ineficiencia del sistema de inyección empleado.

Aparentemente, mientras la fertigación aplicada a partir de un tanque alimentador con presión diferencial, en ese sentido, exhibe una muy acentuada ineficiencia, con la inyección mediante bomba de presión positiva se logra un nivel de homogeneidad de concentración altamente satisfactorio. La diferencia entre ambos métodos de inyección puede apreciarse a través de los resultados obtenidos por Lindsay y Leon (1974) que adaptados en su presentación para mayor claridad se exponen a continuación. (Ver cuadro - en pág. 14).

También Robles Puga (1974), en México y en vid, constató una marcada heterogeneidad en la distribución de fertilizantes con el empleo de tanques dosificadores de presión diferencial, lo que le hizo optar por el uso de unidades auxiliares de control, subdividiendo la superficie bajo riego.

CONCENTRACIONES DE Zn (aplicado como ZnEDTA) Y DE N (aplicado como URAN, 32-0-0)
EN EL AGUA DE DIVERSOS EMISORES A TRAVES DEL TIEMPO E INYECTADO POR DOS METROS
DISTINTOS (adaptado de Lindsay y Leon, 1974)

	Tiempo después de la inyección: minutos	Concentración de N ppm	
		Inyección por presión diferencial	
		EMISOR	
		A	B
	10	5692	-----
	20	15051	4073
	30	5882	343
Línea		Concentración de Zn ppm	
		Inyección con bomba de presión positiva	
1	20	34	32
	25	34	32
	50	30	32
2	20	32	32
	35	34	34
	50	36	32

FERTIGACION HIDROPONICA

Más allá de la tecnología general de la aplicación propiamente dicha de la fertigación, cuyos principales aspectos se esbozaron y discutieron en el apartado anterior, se abren dos grandes posibilidades de enfoque cuando se plantea la composición cuali y cuantitativa de las soluciones nutritivas y la periodicidad de la inyección al sistema de ahí al suelo.

Un punto de vista consiste en independizarse del suelo no solo como reservorio hídrico, sino también como proveedor de nutrimentos, y así como con el suministro diario de agua se trata de optimizar la alimentación hídrica, también se pretende hacerlo con la nutrición mineral mediante un agregado continuo de los elementos necesarios, en proporción balanceada ideal, utilizando la fertirrigación como vehículo. Este que enfoque encara al conjunto de riego localizado y a la fertirrigación como una verdadera operación hidropónica, tiene ventajas e inconvenientes que discutiremos después de describir algunos ejemplos concretos.

Goldberg y Rimón (1974), asocian los excelentes resultados obtenidos en el desierto de la Aravá, en el Sur de Israel, con hortalizas tales como: tomates, pimientos, berenjenas, ajos, melones, sandías, etc. a la fertirrigación con una solución de tipo Hoagland modificada. Para evitar reacciones de precipitación entre ciertos iones emplean una rotación de cuatro días, siendo la cantidad diaria a aplicar proporcional a la lámina de agua, determinada a su vez por la evaporación medida en el tanque de clase "A". Las tres tablas proporcionadas por estos autores pueden ser sintetizadas en esta única que incluye todos los detalles necesarios.

SOLUCION PARA FERTIRIGACION (adaptado de Goldberg y Rimón, 1974)

Día	Nutrimentos	Sales	Concentración en el agua de riego
1	N - K	KNO_3	300 g/m^3
	Ca	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	700 "
2	P - K ó N	KH_2PO_4	350 "
		$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	400 "
3	Mg - SO_4	MgSO_4	400 "
4	N	$\text{NH}_2\cdot\text{CO}\cdot\text{NH}_2$ (UREA)	10 $\text{kg/m}^3\cdot\text{ha}$
	Mn	$\text{MnCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$	50 mg/m^3
	Zn	ZnSO_4	2.000 "
	Cu	$\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25 "
	Mo	$(\text{NH}_4)_6\cdot\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$	25 "
	Fe	$\text{FeCl}_3\cdot n\text{H}_2\text{O}$	4.000 "
	Sequestrene	EDTA-Na	1.000 "
Bo	H_3BO_3 , no más de	2.000 "	

Uniendo las muestras a algunas de las observaciones formuladas por los autores mencionados, este esquema merece los siguientes comentarios:

- i. Es posible que la solución de tipo Hoagland que aparenta haber sido útil en los cultivos hortícolas mencionados y condiciones edafoclimáticas del sur de Israel pueda ser mejorada para otras plantas y ambientes. Por ejemplo: disminuyendo a la mitad las concentraciones de N, P, K o eliminando Bo, o Calcio o Magnesio si las aguas de riego son suficientes para su provisión.
- ii. A pesar de la enunciación general de Goldberg y Rimón, no hemos encontrado dentro de la literatura a nuestro alcance ningún trabajo experimental, ni de esos ni de otros autores, en el que se consigne explícitamente haber empleado en la fertigación el esquema hidropónico de referencia, por lo que nos es imposible abrir un juicio cuantitativo al respecto.
- iii. Es probable que este tipo de fertigación sea el que mejor se adapte a suelos arenosos, pobres y de baja o nula actividad coloidal.

Dentro de esa misma orientación hidropónica se ubica la metodología desarrollada en México por Romero et al (1978) y preconizada para invernáculos de producción de hortalizas varias. En este caso emplean una solución mixta con la cual riegan diariamente y cumplimentando todo el requerimiento evapotranspiratorio cuando se trata de substrato arenoso, mientras que la aplica sólo una vez cada 10 días como fertigación, en suelos con fracciones finas. La composición del riego nutritivo, en el orden aconsejado para la disolución de las sales comerciales, es el siguiente:

SOLUCION PARA FERTIGACION DE INVERNACULO DE HORTALIZAS

(adaptado de Romero et al, 1970)

Sales Comerciales Utilizadas	Gramos/m ³
Sulfato de Potasio (44% K)	700
Superfosfato Triple (20% P)	600
Nitrato de Amonio (33,5% N)	1.070
Sulfato de Magnesio (11% Mg)	200
Sulfato de Magnesio (24% Mn)	8
Sequestrene 138 (6% Fe)	83

Además, y sólo en arena o en suelos sin reserva cálcica se aconseja 7 gramos c 8 días m² de yeso en cobertura seguida de un riego con agua pura que cumpla el uso consuntivo de ese día en el cual no se fertiga.

FERTIGACION COMPLEMENTARIA

El otro enfoque al que aludimos anteriormente como alternativa de la fertiga-
ción hidropónica, es el punto de vista tradicional de la fertilización ya no como
sustitución total al aporte de nutrimentos del suelo, sino como su complementación
hasta alcanzar la optimización de este factor dentro del complejo de productividad
Indudablemente éste es el planteo más generalizado y dentro de él caben las consi-
deraciones que siguen:

1. Influencia del Volumen mojado y de su forma:

Donde la humedad del suelo es insuficiente para el metabolismo ra-
dical, es evidente que tampoco habrá absorción de nutrimentos. Es decir,
que para la economía de la producción sería conveniente el máximo de volu-
men mojado para incorporar los nutrimentos proporcionalmente existentes -
en él y ahorrar el costo que significa su aplicación como fertilizantes.
Pero esto que aparente ser un sencillo planteo, encierra distintos facto-
res que deben ser ponderados en conjunto y resueltos en cada diseño en
particular.

Si bien el volumen humedecido, a los fines anteriores, debe ser lo
más grande posible, de hecho está limitado por su superficie de interfase
con la atmósfera, la que a su vez debe ser lo suficientemente pequeña co-
mo para no desvirtuar algunas de las ventajas importantes del riego loca-
lizado, como ser la reducción de las pérdidas por evaporación y el control
de malezas. Por otra parte, la profundidad de mojado también está cons-
treñida a evitar las pérdidas de nutrimentos muy solubles, especialmente
N-NO₃ por percolación profunda. De aquí la importancia de establecer en
cada suelo y tipo de cultivo la combinación de densidad de emisores, su
distribución, caudal y cronograma de funcionamiento que harían posible, -
hasta cierto punto, conseguir el patrón y volumen de mojado que concilia-
ría la eficiencia de aprovechamiento de la reserva edáfica en nutrimentos,
con la eficiencia de aplicación de agua. Con respecto al manejo de estos
parámetros pueden consultarse con provecho, entre otras, las contribucio-
nes de Keller y Karmeli (1974), Good et al. (1978), Keng (1978), Hernán-
dez Abren (1979) y Añez (1979)

Es evidente que las consideraciones anteriores son tanto más relevantes cuanto mayor es la fertilidad intrínseca del suelo y pierden trascendencia en las condiciones que hemos descripto como apropiadas para la fertigración hidropónica.

2. Distribución en la Parte Aérea de los Nutrimientos Absorbidos por un sector de raíces:

En experiencia de laboratorio con raíces divididas, Baker y Milburn (1965) demostraron la posibilidad de un movimiento polar de nutrimentos, desde el sector del sistema radical que los recibe junto con el riego hasta una parcialidad del follaje, lo que significa un desigual suministro a las diferentes partes de la planta. También Fregoni y Roversi (1970) encontraron un moderado transporte cruzado en durazneros cultivados a campo, pero sólo movimiento polar cuando fueron cultivados en recipientes. Opinan que en frutales es prudente proveer de nutrimentos a todo el sistema radical.

Sin embargo, West et al (1970) demostraron, trabajando en manzanos con agua enriquecida con tritio, que la predominancia del movimiento polar se mantenía mientras no hubiera un gradiente de humedad importante entre el sector de raíces enriquecido y el resto del sistema radical, pero no bien la succión matriz de este último superaba un pF 3,7, es decir 5 atmósfera, el transporte se hacía lateral y el tritio se distribuía en toda la planta.

Cómo debemos interpretar todo esto en relación con nuestro tema? Si el riego localizado y la fertigración por su intermedio corresponden a un cultivo implantado con esta metodología desde un principio, no hay ningún problema con polaridad de transporte, dado que raíces y volumen mojado se corresponden exactamente. La polaridad sí podría tener consecuencias en cultivos ya implantados y a los que se les cambió de sistema de riego, pasando de uno de los tradicionales al localizado. En esta situación pueden presentarse dos casos: a) que se trate de una región árida donde permanentemente exista un gradiente muy acentuado de humedad entre las raíces en el bulbo mojado y las demás que podrían todavía subsistir. En esta coyuntura el transporte sería lateral, como lo demostraron West et al (op.

cit.); b) que ya sea como consecuencia de lluvias invernales, o estacionales, esporádicas, de cierta consideración, no haya un gradiente suficiente de humedad entre el sector fertigado y el resto del sistema. En estas condiciones podría establecerse durante un lapso significativo un transporte polar provocador de heterogeneidad en la distribución de nutrimentos dentro de la parte aérea. Si tal es el caso, sugerimos complementar la fertigación localizada con la colocación de fertilizantes directamente en el resto del área radical y, además, seguir un control de absorción mediante análisis tisulares.

3. Eficiencia de Absorción de las Raíces Confirmadas:

Black y West (1974) demostraron en ensayos con raíces divididas que la disminución de absorción de agua era mucho menos que proporcional a la restricción del volumen mojado. Si dicha absorción se mide a través de la transpiración de una planta de manzano cuyas raíces se subdividieron en cuatro partes, los siguientes datos son elocuentemente demostrativos:

Sector de raíces regado en %	Transpiración medida en %
100	100
75	94
50	88
25	74

Frith y Nichols (1974), también en manzanos, establecieron que si sólo parte de las raíces eran fertilizadas con $N-NO_3$, esa parte aumentaba en un 50% su capacidad de absorción. Esto significa que con un 70% de las raíces en contacto con NO_3^- la absorción sería igual a la de la totalidad de ellas. Es interesante que este efecto no es sólo consecuencia de un mero aumento del crecimiento radical sino de un cambio metabólico. Esto se prueba porque si en la misma planta se anula el "stress" provocado por la nutrición diferencial y se fertiga en forma general, vuelve a su nivel normal de eficiencia absorbente el sector que antes la había elevado. De todos modos, en el caso de cambio del sistema tradicional al riego localizado, este comportamiento se consolida por un real aumento de raíces fibrosas en el volumen mojado, 4 a 5 veces, según Good et al. (1978), similarmente a lo encontrado por Willough y Cockroft (1974) en durazneros.

Esto abona el criterio de Black (1976) que propone como tamaño mínimo del patrón de mojado en la conversión de árboles maduros el de un 25% del volumen original del sistema radical.

FERTIGACION CON NUTRIMENTOS ESPECIFICOS

Con el fin de proporcionar un panorama integrador, sin caer en el detalle excesivo, puntualizaremos, con las debidas referencias, los principales aspectos y problemas que caracterizan a los nutrimentos que más comúnmente interesan a la fertigación.

NITROGENO

1. El pronóstico de la posibilidad de respuesta, y la oportunidad y dosis de las aplicaciones, se basan fundamentalmente en una apreciación crítica del conjunto de los datos edáficos, y los de composición y actividad bioquímica de los tejidos vegetales. Estos parámetros deben ser juzgados sobre la base de ensayos experimentales de calibración en similares condiciones ecológicas, varietales y de manejo general. Esta consideración es válida también para todos los otros nutrimentos y nos exime de repetirla en los sucesivos. Si mencionáremos, en forma específica, antecedentes que tengan valor orientativo.
2. Aparentemente, la concentración óptima de $N-NO_3$ en la solución edáfica oscila entre 10-15 meq/l, o sea 140 a 210 ppm (Hoagland y Arnon, 1950); en maíz, v gr. el óptimo crecimiento se consiguió con ca. 10 meq/l en la solución del suelo. (Bar Josef y Kafkafi, 1972; Yanuka, 1978) Como un exceso de concentración puede inducir una deficiencia relativa de P en las plantas, probablemente por competencia aniónica (De Wit, Dijkshoorn and Noggle, 1963), y teniendo en cuenta el efecto evapotranspiratorio, un límite seguro a mantener en la solución del suelo sería 100 ppm $N-NO_3$ (Kafkafi et al., 1978). Un control periódico podría servir entonces para regular la fertigación.
3. Por otra parte, hay datos de maíz bajo riego que permiten asegurar que una concentración de N, en toda la planta, y entre los 45 y 57 días después de emergencia, de 2,2% a 2,7%, es suficiente para un rendimiento de 10.000 kg/ha de grano (Bauer et al., 1975). En citrus y en otras plantas no siempre el contenido de N en hojas es índice seguro, y para esos casos se ha propuesto un método bioquímico muy específico basado en la relación entre la actividad natural e inducida de la enzima Nitroreductasa en el tejido foliar (Bar Akiva y Sternbaum, J. 1965; Bar Akiva, 1970)

4. La textura del suelo es un factor importante a considerar. Por ejemplo: en suelos arcillosos y en capacidad de campo puede estimarse una producción de 1 ppm de $N-NO_3$ c/24 horas, pero simultáneamente se opera una pérdida por desnitrificación entre el 7% y el 50% del NO_3 presente, según el volumen de aire. Cuando este último es del 7% la solución del suelo dentro del bulbo mojado se equilibra en ca. la mitad de la concentración de la agregada por fertigación. En suelos arenosos, en cambio, no tienen mayor importancia ni la nitrificación ni el proceso inverso, y la concentración en el suelo tiende a ser la misma que la de la solución fertilizante (Bar Yosef y Shelkholami, 1976)
5. En la regulación de la dosis y periodicidad de aplicación, es útil el conocimiento de las exigencias del cultivo a través del ciclo. Para maíz forrajero, v. gr., Yanuka (1978) comprobó una absorción máxima de 10 kg/ha/día entre 30 y 40 días post-emergencia, la que cesa a los 70 días.
6. Teniendo precauciones para evitar pérdidas por lavado y fertigando con un criterio que mantenga al suelo fuera de niveles críticos de tasa de difusión de oxígeno ($ODR 0.4 \text{ ug/cm}^2/\text{minuto}$); conductividad insaturada ($K = 10^{-4} \text{ cm/día}$) y resistencia a la penetración radical (20 kg/cm^2), puede conseguir una alta eficiencia.
7. En ensayos comparativos con otras formas de aplicación, el N agregado a través del riego localizado muestra, en general, iguales o mejores efectos con dosis por hectárea hasta un 50% menores, especialmente cuando las fertigaciones son frecuentes (Kenworthy, 1979; Middleton et al., 1974; Miller et al., 1976; Smith et al., 1979; Bester, 1974; Phene y Beale, 1979). Incluso y en combinación con K tiene mayor efecto que el agregado de formas sólidas al suelo sobre la calidad de la fruta (Goode et al., 1978)
8. Los fertilizantes nitrogenados más utilizados en fertigación son: Urea; Urea + NO_3NH_9 (UREAN); nitrato de amonio y sulfato de amonio.

También suele inyectarse en las aguas de riego amoniaco líquido (v. gr 30 litros/ha/semana durante 9 meses, en olivos, en Israel, cit. por Vaggionas, 1979). La posibilidad del empleo de NH_3 , indudablemente la fuente más económica de N, está limitada por la posibilidad de precipitaciones en las aguas.

En este sentido Isobe (1974), definió un criterio de tolerancia de las aguas para distintas proporciones de N de NH_3 , y propuso una técnica para determinarla.

9. En algunos casos se ha combinado exitosamente el riego localizado con el agregado al suelo de fertilizantes de lenta liberación, como SCU, urea cubierta de azufre (Hall, 1977). Las propiedades de disolución de varios tipos de SCU han sido estudiadas por Hashimoto y Mullins (1979); la velocidad en general aumenta con la temperatura, pero también ligeramente con el mayor pH y actividad microbiana.

Mientras las formas amoniacales sufren una cierta retención por los coloides del suelo, lo que favorece su eficiencia, los nitratos corren peligro de pérdidas por lavado profundo. Estas pueden ser entre el 20% y el 30% (Bielorai 1977). Además, los NO_3 tienden a concentrarse en la periferia del bulbo mojado. Consideramos que este efecto podría aminorarse si se regulara con precisión el agregado de nitratos frente al balance entre su absorción por la planta y producción por el suelo.

10. Menores dosis de N pero con un nivel óptimo de disponibilidad hídrica pueden ser tan eficientes como mayores agregados. Por ejemplo: maíz en México con riego por goteo rindió más con 120 kg/ha de N y un $K = 1$ que con 180 kg/ha y un valor $K = 0.7$ (Vizcaino Valenzuela et al., 1977)
11. En general no hay pruebas de preferencia por los cultivos por formas aniónicas o catiónicas de N. Algunos ensayos mostrarían lo contrario por lo que podrían ser atribuidos a efectos indirectos de acidificación del medio. Tal sería según nuestra interpretación, la causa de la aparente preferencia del tomate por el N de NO_3 frente al de NH_4 , que se exhibe en la experiencia de Kafkafi et al. (1971). En algunos casos, como en vid, el N- NH_4 a una concentración óptima de 20 ppm de N, se comportó mejor que el N- NO_3 (Drboglay y Davy dova, 1974)

FOSFORO

1. A pesar de que la planta aparentemente absorbe el P a partir de la solución del suelo (Olsen y Kemper, 1968), la concentración de fosfato iónico en solución que siempre representa una muy pequeña proporción del existente en la fase sólida, no sirve por sí sola como parámetro de diagnóstico confiable. No da seguridad de respuesta, ni sugiere dosis de fertilizante necesario cuando ella se considera probable.

La complejidad del problema del P ha provocado que paralelamente con metodología más apropiada para investigación, tal como: isotermas de absorción, coeficientes de difusión, permeabilidad del tejido radical, etc., surgieran una cantidad de técnicas semiempíricas calibradas en situaciones de campo. Una de las más empleadas de esas técnicas en suelos regadíos, es la de la extracción con bicarbonato de sodio 0.5 M pH 8,5 (Olsen et al., 1954) Los Valores obtenidos en cuanto a su significación para calibrar al suelo, pueden variar según plantas y condiciones ecológicas, pero en líneas generales responden aproximadamente a la escala originalmente propuesta; contenidos en P de 0-5 ppm es pobre; de 5-10 ppm, mediano; y más de 10 ppm es alto. Ultimamente se ha propuesto la misma solución para extraer y estimar simultáneamente a N, P y K (Bar - Yosef & Akizi, 1978)

En los suelos aluviales regadíos, ligeramente calcáreos, del Oeste argentino, el método que se ha adoptado con buen éxito es el de la extracción con burbujeo carbónico en relación suelo: agua, 1:50 (Nijensohn, 1959). Para papa, por ejemplo, se fijó como nivel compatible con un rendimiento de 28 t/ha. o más, el de 44 ppm de P extraíble (Nijensohn et al., 1980).

Teóricamente, la dosis a aplicar por fertilización debería ser la necesaria para lograr un nivel de P extraíble deseable por cualquiera de los métodos confiables donde y para el cultivo que fueron calibrados. Sin embargo, - todavía no se ha llegado a un método de aplicación práctica aceptable e independiente de la demorosa y costosa experimentación de invernáculo o, preferiblemente, de campo, de la que es un ejemplo interesante la realizada en Israel por Albasel (1977).

2. A diferencia del N de NO_3 , el fósforo aportado por fertigación como sal del ácido ortofosfórico se concentra dentro de un volumen muy reducido a partir del punto de aplicación. Esto es consecuencia de múltiples fenómenos tales como precipitación como sales de calcio, hierro y aluminio; fijación en la superficie de arcillas y calcáreo fino; formación de complejos apatíticos, etc. Esta fijación es tanto más intensa cuanto mayor es la superficie específica del suelo (Kafkafi, Hadas y Hagin, 1968) y la proporción de arcilla y calcáreo (Avellaneda y Nijensohn, 1978).

Es por eso que en suelos arenosos el movimiento sería 2 veces mayor en sentido horizontal y 3 veces en el vertical que en suelos arcillosos (Bar -Yosef y Sheikhsлами, 1976).

Una consecuencia adicional de la aplicación de fosfatos diácidos (v. gr. $\text{PO}_4 \text{H}_2 \text{K}$) sería una disminución de pH cerca del punto de goteo, lo que a su vez puede aumentar la capacidad de adsorción aniónica del suelo (ibid).

3. La escasa movilidad del anión ortofosfórico constituye, indudablemente un problema para la fertigación, y hay diversas alternativas planteadas al respecto. Una de ellas sería la de incorporar toda la dosis de P en forma sólida al suelo (Goldberg et al., 1971; Hall, 1977, Vaggionas, 1979) y, en lo posible, en la zona de máxima actividad radical.

En este punto, una interesante experiencia de Guennelon y Habib (1979) llama la atención sobre la posibilidad de que en ciertos suelos convendría alejar el fosfato del centro de aplicación del bulbo mojado y colocarlos cerca de la periferia. Aparentemente, en la zona saturada, durante el funcionamiento del goteo, no se produciría en manzanas una absorción detectable de P, hecho comprobado por inyecciones puntuales de ^{32}P en el suelo y medidas de radioactividad en las hojas; esa absorción fue rápida, en cambio, en la franja semisaturada.

Otra alternativa sería agregar parte en el suelo, esparcido o en banda, según el cultivo, y el resto a través de soluciones diluidas (Medina, San Juan, 1979). Creemos por nuestra parte, que un enfoque lógico sería el de alcanzar, por medio de un primer agregado directo, el nivel deseable de P extraíble y luego, mantenerlo continuamente por fertigación diaria y diluida, especialmente en el período de máxima absorción (en maíz, por ejemplo, 1 kg/ha/día de P durante el llenado del grano, (Yanuka, 1978)).

Y, por último, la tercera alternativa sería limitarse a la fertigación por goteo, dado que hay evidencias de que, por lo menos en ciertas condiciones, puede ser tan o más eficiente que la aplicación edáfica directa. Por ejemplo: Raushkolb et al., 1976a y 1976b, encontraron que en un suelo franco arcilloso con 7 ppm de P extraíble por NaCO_3H la aplicación por goteo de 25 kg/ha de P produjo un rendimiento mayor que 60 kg/ha colocados como SPT en bada debajo de la semilla. Estos autores constataron mayor movimiento de P del esperado, lo que explican por la gran concentración puntual, y ejemplifican así: Una aplicación a razón de 1 kg/ha de P_2O_5 a través de 7200 emisores/ha, correspondería a una dosis uniformemente repartida de 1000 kg/ha de P_2O_5 , suponiendo un radio mojado de 8 cm por gotero, que fue el observado en ese suelo. El movimiento observado es, en consecuencia, comparable al obtenido cuando muy altas dosis de P se agregan en cobertura.

4. Para ser agregado por fertigación se ha preconizado el uso de ácidos ortofosfórico, polifosfórico y superfosfórico, así como fosfatos mono y bi sódicos, amónicos y potásicos (Bester, 1974 y Bester et al., 1979). Todos ellos están sujetos a precipitaciones por reacciones en aguas de riego con suficiente Ca, Mg y/o Fe para provocarlas, lo que puede ser causa de taponamientos en el sistema. Un control adecuado del pH podría obviar este inconveniente donde la calidad de las aguas no haga demasiado oneroso el tratamiento.

En México, utilizan como material de fertigación al superfosfato triple, producto más barato que los antecitados., y superan, aparetemente con éxito los inconvenientes de su solubilidad parcial y las precipitaciones posteriores mediante un pretratamiento consistente en suspender cada kilo de SPT en 3,5 litros de agua, agregarle 250 ml de H_2SO_4 comercial (97%), agitar y dejar en reposo 24 horas. La solución decantada es la que se inyecta al sistema - (Peña Peña et al., 1979)

5. Con el objeto de tratar de obviar la limitada movilidad en el suelo de los ortofosfatos, se estudió comparativamente el comportamiento de sales de otras formas aniónicas de P, tales como: fosforoso, hipofosforoso, pirofosfórico, metafosfórico y superfosforoso (Bastisse, 1966 a, 1966b, y 1968; Mac Intire et al., 1950; Adams y Conrad, 1953)

Desde el punto de vista de movilidad en el suelo, sólo los hipofosfitos y los fosfitos, cuyas sales son muy solubles, presentaron un interés especial pa

ra la fertigación. Lamentablemente, ya estudios de Mengdehl (1933) demostraron por análisis químico de la planta que el maíz no asimilaba fosfitos, observación confirmada biológicamente a través del rendimiento de trébol rojo, que fue deprimido por el agregado de este compuesto. Sin embargo, en una segunda cosecha, hubo un efecto positivo que se atribuyó a una oxidación hasta ortofosfato de los fosfitos originales (Mc Intire et al., 1950). Posteriormente se demostró que esta oxidación era un proceso metabólico interno de ciertas bacterias, hongos y actinomicetas presentes en el suelo (Adams y Conrad, 1953).

Consideramos que éste es un campo que ofrece interesantes posibilidades. Podría distribuirse homogéneamente el P, como compuesto reducido, por fertigación suficiente anterioridad a la siembra, de modo que su oxidación podría completarse (de existir materiales energéticos, como ser rastrojos) para cuando el nuevo cultivo lo necesitara. Con esta hipótesis hemos planteado trabajos en comienzo de ejecución.

6. Otra alternativa, que permitiría una mejor distribución del P en el suelo a través de la fertigación, la constituye el empleo de compuestos orgánicos de fósforo de elevada solubilidad. El que más promete es el glicerofosfato de calcio (Rolston et al., 1974). El ácido glicerofosfórico, además no formaría precipitados en el sistema de distribución, lo que representa una ventaja, adicional. En el suelo el glicerofosfato se mueve como tal, pero rápidamente es descompuesto biológicamente y libera el anión ortofosfórico que es, rápidamente, disponible para las plantas, como fue demostrado en tomate (Raushkolb et al., 1976a). Sin embargo, no se ha probado su conveniencia ni económica, ya que la unidad de P cuesta de 2 a 3 veces más que en los fosfatos inorgánicos, ni técnica pues su movilidad, con ser mayor que la del $P-PO_4$, no llega a más de 15 a 35 cm en los pocos ensayos hasta ahora realizados (Raushkolb et al. 1976b) (Cuccia y Nijensohn, 1979).
7. Un enfoque totalmente distinto, orientado a superar la interferencia del suelo que se ejerce a través de las múltiples reacciones fisicoquímicas y biológicas que afectan la eficiencia de acción de los nutrimentos agregados a él, ya sea directamente o a través de la fertigación, es el propuesto por Nijensohn (1977) y descrito en sus primeros resultados en vid con riego localizado por Nijensohn et al. (1979). El método, conocido por sus siglas NAREX, se fundamenta en la creación de un sistema de raíces caulinares, extraedáfica, -

inmersas en un medio físiquímicamente inerte, donde los nutrimentos agregados no sufren modificaciones. La eficiencia de absorción especialmente de P y K, aumenta notablemente y con dosis considerablemente menores por hectáreas se obtienen incrementos de rendimientos superiores a las fertilizaciones tradicionales 5 a 10 veces mayores.

POTASIO

1. La concentración de K en la solución del suelo, y la relación de actividades con respecto a los otros cationes, revisten importancia no tanto por si mismas, ya que la planta puede absorber K desde soluciones con 0.01 ug/ml. (Williams, 1961), sino como reveladores de un equilibrio con las formas fácilmente intercambiables (Nijensohn, 1970).
2. Diagnosticada la posibilidad de respuesta por cualquiera de los parámetros ca librados para el cultivo y su complejo ecológico, de existir esa posibilidad el planteo específico en la fertigación podría ser establecer, por medio de un primer agregado masivo, el nivel base de equilibrio frente a la fijación, para en posteriores aplicaciones diluidas suministrar el K según el ritmo de consumo en los períodos críticos.

El maíz forrajero v. gr. la absorción máxima entre 30 y 40 días después de emergencia, puede llegar a 16 kg de K/ha/día (Yanuka, 1978)
3. El uso de $C1K$ o SO_4K_2 no presenta problemas de solubilidad, pero a veces provoca floculación de materia orgánica en ciertas aguas (Bester, 1978)
4. La fertigación con K debe evitar las aplicaciones excesivas que, por una parte, provocan un consumo innecesario y, por lo tanto, antieconómico y, por otra, pueden a través de su competencia y antagonismos con Ca y Mg causar serios inconvenientes como la enfermedad fisiológica del tomate conocida como "putrición estilar o aplicar" (blossom end rot). Tal es el caso informado en Brasil por Oliveira et al (1979)
5. Consideramos que un campo prometedor de resultados prácticos puede ser el estudio de la influencia de la relación $NH_4: K$ en la solución fertilizante, para aminorar recíprocamente los efectos de fijación por parte de algunas arcillas 2: 1 predominantes en suelos regadios.

COMENTARIO GENERAL SOBRE ENSAYOS DE RIEGO LOCALIZADO Y FERTILIZACION

Para la preparación de este relato se pretendió examinar la mayor proporción posible de los trabajos publicados en donde se aplicó, simultáneamente, riego localizado y alguna forma de fertilización. Por razones de tiempo y espacio no se entra en el comentario particularizado, aunque se menciona sus títulos en la reseña de la literatura citada, pero creemos de utilidad unas reflexiones de tipo general que su lectura nos ha sugerido.

1. Sería de desear un mayor número de experiencias donde se plantean en forma comparativa distintas formas de aplicación, dosis, frecuencias y materiales utilizados.
2. La no mención de los parámetros de fertilidad que caracterizan a los suelos ensayados, o la simple cita de valores sin especificar cuál ha sido el método empleado para obtenerlos (caso muy frecuente en P), hace imposible extender las conclusiones a otras situaciones.
3. La fertilización, salvo pocas excepciones, ha sido encararada como una práctica de cultivo casi rutinario, siguiendo patrones tradicionales de la zona, siendo sólo variantes en el riego por goteo el centro de la investigación. - Este planteo debe ceder lugar al estudio integrado de ambos aspectos que son un único y sólo paquete de tecnología. Más aún, es posible que haya avanzado considerablemente más en los aspectos ingenieriles de los sistemas de riego localizado que en aquellos vinculados con la fisiología del cultivo a los que se los aplicará y, en primer término, a su nutrición mineral a través de la fertigación, lo que todavía plantea números problemas.

CONCLUSION

El riego localizado en general, y el de por goteo en particular, ha significado un tremendo avance hacia la optimización de la alimentación hídrica. Pero la expresión total de sus posibilidades depende de que sea complementado en dos aspectos básicos: uno, el perfeccionamiento de la fertigación en lo relacionado con el diagnóstico de necesidades y formulación de todos los detalles de su práctica, de modo de conseguir la máxima eficiencia productiva y, el otro, el desarrollo de la genética aplicada a la consecución de nuevas y mejores variedades capaces de aprovechar las potencialidades ofrecidas por el riego y la nutrición, am

2.5.28

bos aspectos bajo control optimizado. Esa es la labor todavía a cumplir por equi
pos integrados de la diversas especialidades concurrentes a los objetivos enuncia-
dos.

B I B L I O G R A F I A

1. ADAMS, F. y CONRAD. J.P. 1953. "Transition of Phosphite to phosphate in soils" Soil Sa. 75 (5): 361-371
2. ALBASEL, N. 1977. "The influence of rate and placement of phosphorus in the fertilization of tomatoes in the lower Jordan Valley, 1974-75". Special Publ. Nº 84, Agr. Res. Org., DIV. Sci. Pub., Bet Dagan, Israel.
3. AÑEZ, D. 1979. "Uso de bulbos de humedecimiento para estimar algunos parámetros de diseño del riego por goteo". III Sem. Lat. Am Riego Goteo, Campinas: 444: 475. Brasil.
4. ASSAF, R., BRAVDO B. y LEVIN. I. 1978. "An intensive bedagerow drip irrigation Syatem for apples as developed in Isarael". Compact Fruit Tree, 11, 37-43
5. AVELLANEDA, M.O. y NIJENSOHN, L. 1978 "Fósforo escotópicamente intercambiable en el diagnóstico de fertilidad de suelos meudocinos" 8a. Reun Argent Crenc. Suelo, Resúmenes: 20-21, Bs. As.
6. BAKER, D.A. y MILBURN. J.A. 1965. "Lateral movements of inorganic solutes in plants". Nature, u.k. 205, 306-7
7. BAR AKIVA, A. 1970 "Chemical and biochemical measurements on plantes as a mean of controlling yield and plaut performauce" The Volcane Ynft, Agric. Res., - Bet Dagan, Israel, 1970 Series Nº 1752 - E, 211-219.
8. BAR-AKIVA, Moynard, D.N y ENGLISH. J.E. 1978 "A rapid tissue test for diagnosing iron deficiencies in vegetables irops" Hor-Science. 13(3), 284-285.
9. BAR-AKIVA y STERNBAUM, J. 1965 "Possible use of nitrate reductase activity of leaves as a measure of the nitrogen requiement of citrus trees" PL Cell -- Physiol. 6 575 - 577.
10. BAR-YOSEF, B. y KAFKAFI. V. 1972. "Rate of growth and nutrient upatake of irri gated corn as affected by Nand P fertilization" Soil Sci. Soc. Am Proc. 36: 931 - 936.
11. BAR-YOSEF. B y SHEIKHOSLAMI, M.R. 1976 "Distribution of water and ions in soils irrigated and fertilized from a trickle source". Soil Sci Soc. am y 40 (4). 575 - 582.
12. BARRAZA CAZARES, R. 1974 "Resultado de pruebas de riego, poda, conducción y va riedades en cultivo de tomate bajo riego por goteo en la Región Lagunera, Coha nila y Durango, México!" 2º Sem. Lat. Am Riego Goteo, II, Anexo 17.
13. BASTISSE, E.M. 1966 a. "Comportement des anions phophorique, phosphoreux et. hypophosphoreux en présence des sols et des éléments colloideaux quils contiennent". Compt. Rend. Acad. Agric. France. 52 (4). 246 - 253

SITUACION ACTUAL DE LA AGRICULTURA DEL JAPON
Y EJEMPLOS SOBRE EL DESARROLLO DE RIEGO

POR: YOSHIAKI OTSUBO

Junio 1981

Departamento de Planificación e Investigación Agrícola, Forestal y Pesca
La Agencia de Cooperación Internacional del JAPON (JICA)

SITUACION ACTUAL DE LA AGRICULTURA DEL JAPON
Y EJEMPLOS SOBRE EL DESARROLLO DE RIEGO

I. TERRITORIO NACIONAL DEL JAPON

El Japón es un archipiélago situado al Este del Continente Asiático, separado por el Mar del Japón.

De cabo a rabo, se extiende el archipiélago por 3.000 kilómetros entre 20 grados y 46 grados de latitud norte, conjunto de una extensión aproximada de 370.750 kilómetros cuadrados.

El archipiélago se forma de cuatro islas principales: Hokkaido, Honshu, Shikoku y Kyushu, en unión de unos cuatro mil islotes de menor importancia.

La topografía del Japón se caracteriza por su numerosa montaña, de las que unas 580 tienen 2.000 metros o más de sus alturas, por consiguiente, las valles y llanuras son pequeñas y las precipitaciones son abundantes. La topografía es compleja y se encuentran muchos ríos, algunos de ellos son largos.

El archipiélago japonés es parte de las cordilleras volcánicas del Océano Pacífico donde el movimiento de corteza terrestre es muy activo, encontrándose 196 volcanos vivos, de los que 30 son activos. De misma manera, sucede a menudo temblor de tierra causando de vez en cuando desastres terribles.

El archipiélago japonés es una tierra templada rodeada de mares por todos lados, formando una cadena esbelta de islas al Este del Continente Asiático.

La característica de su clima es rara en el mundo, porque los montes elevados se prolongan a través de la parte central del archipiélago y las condiciones climáticas son diferentes según las regiones.

En Japón, el cambio de las estaciones es muy definido. Después de la temporada de las lluvias, la cual comienza desde junio y dura aproximadamente 40 días, verano comienza a mediados de julio.

El verano es caluroso y húmedo.

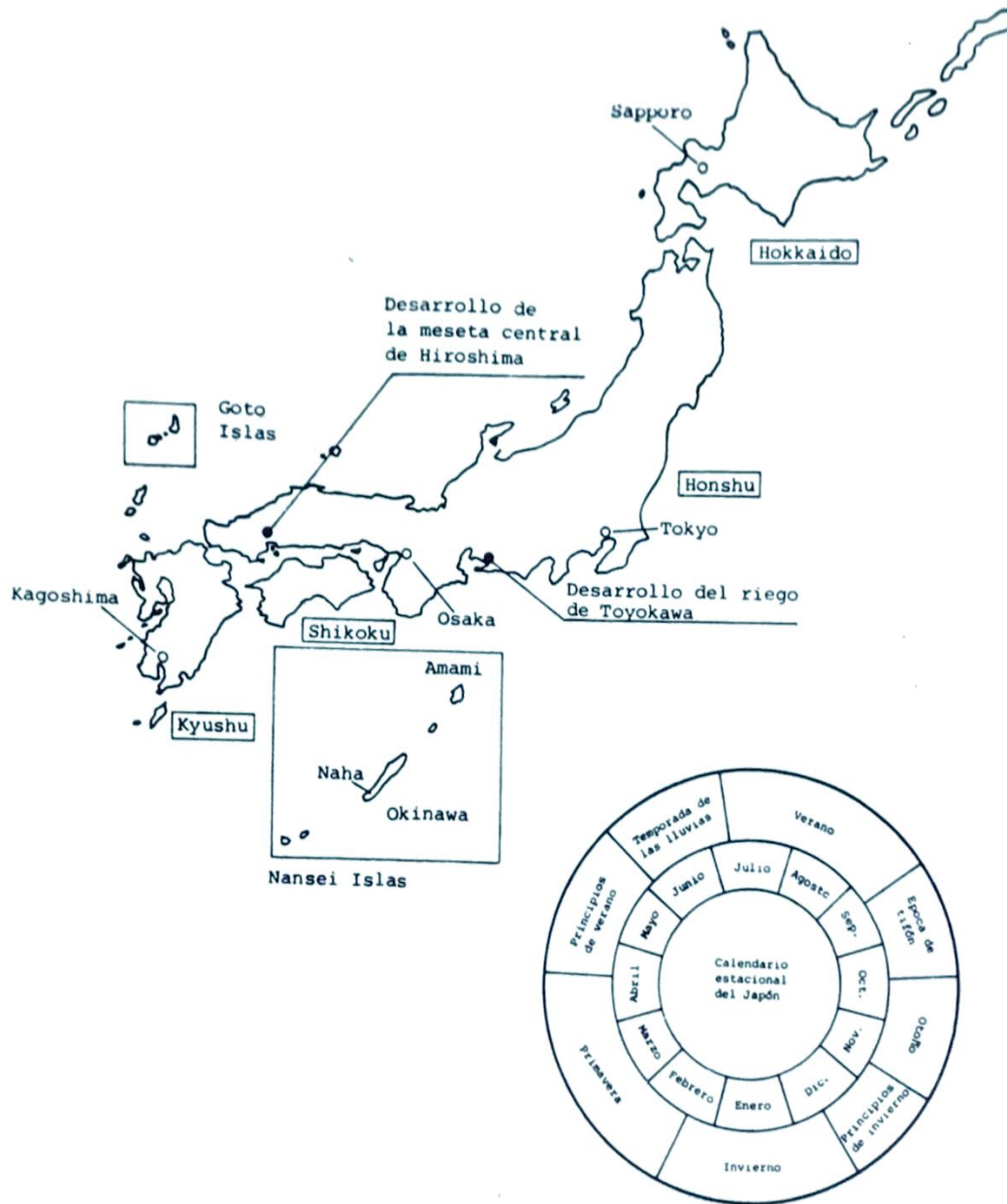


Fig. 1 Mapa topográfico

Primavera y otoño son las más agradables estaciones del año. Los tifones atacan frecuentemente al Japón a fines de verano y a principios de otoño, llevando lluvias fuertes y tormentas a algunas regiones.

En invierno, hay mucha nevada en las regiones del norte y otras situadas en el lado del Mar del Japón, mientras en las demás regiones gozan con un moderado clima y un buen tiempo.

Como el Japón está situado dentro de la zona de monzón, las precipitaciones son relativamente abundantes, haciendo un promedio anual de 1.000 mm a 2.500 mm.

Las diferencias definidas de las cuatro estaciones ejercen una gran influencia sobre la vida de los pueblos en general y de los labradores en particular.

Dado que existen en el Japón tales limitaciones arriba mencionadas en las condiciones naturales, sus áreas utilizables son muy pequeñas, o sea, el territorio nacional se forma de las siguientes áreas:

Area forestal	68%
Area agrícola	15%
Terreno para viviendas	3%
Ríos, lagos y carreteras	6%
Area restante	8%

Con estas cifras observamos claramente que la proporción del área agrícola en el que se producen viveres es pequeña y la del área forestal es grande en comparación con los países europeos.

El Japón, en particular, en curso de desarrollo económico desde la Restauración de Meiji (1868), ha venido constituyendo una sociedad económica de mucha densidad en sus territorios pequeños. Actualmente, la población de este país es de unos 110 millones de habitantes y la densidad demográfica es de 337 habitantes por kilómetro cuadrado, siendo uno de los países que tienen más alta densidad de población del mundo.

Por otra parte, el Japón ha venido cumpliendo tan rápido crecimiento económico que llegó a ser el Producto Nacional Bruto (P.N.B.) más grande después de los EE.UU. en el mundo libre.

Sin embargo, la población y las industrias se concentran en las zonas de llanura con pequeñas superficies, así como se desarrollan grandes ciudades e industrias sólo en cinturón del Océano Pacífico, como consecuencia, la situación se ha puesto grave causando un desequilibrio sobre la utilización del territorio nacional, tales como: superpoblación en las regiones urbanas, despoblación en los pueblos entre montaña, etc.

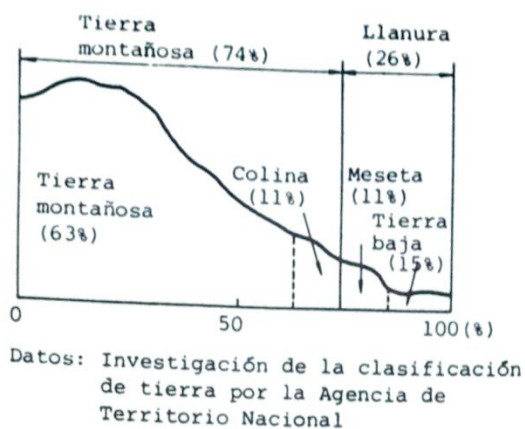


Fig. 2 Formación del territorio nacional por topografía

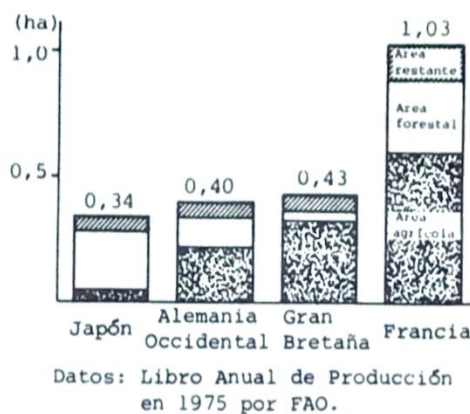


Fig. 3 Comparación de las superficies en utilización de territorios por persona

II. SITUACION ACTUAL DE LA AGRICULTURA DEL JAPON

A. Producción Agrícola

Los factores de localización para ejercer la agricultura en el Japón no son siempre favorecidos, ya que las condiciones topográficas son escabrosas y además el área agrícola es muy pequeña, pero, en realidad, los labradores están ejerciendo agricultura intensiva, la cual se considera como una de las mejores agriculturas del mundo, guardando los patrimonios grabados en la tierra por los antepasados desde los albores de la historia.

Por lo que se refiere al rendimiento de productos, por ejemplo, la cantidad productiva del arroz sobrepasa la cifra de 6 tons/ha (arroz con cáscara), el cual constituye el alimento principal para los japoneses; en cambio, el nivel de rendimiento del trigo en Europa, el cual es el alimento principal en los países occidentales, se limita de 4 - 5 tons/ha, o sea, el arroz del Japón acusa la más elevada capacidad productiva.

La agricultura del Japón está compuesta principalmente del cultivo de arroz desde tiempos antiguos haciendo valer las condiciones meteorológicas de la zona templada de monzón, pero, por otra parte, se hallan las diversas agriculturas adaptadas a sus climas y terrenos según las regiones, tales como: industrias lecheras en Hokkaido; cultivo de arroz en las llanuras de las regiones del norte y de las regiones situadas frente al Mar del Japón: horticu-
lturas o cultivo de verduras en las afueras de las zonas urbanas de Kita-Kanto, Tokai y de Kinki; cultivo de verduras adaptadas a las condiciones atmosféricas de las regiones de altiplanie central o de las zonas templadas del suroeste; ganadería de las regiones del sur de Kyushu; y las demás actividades agrícolas peculiares.

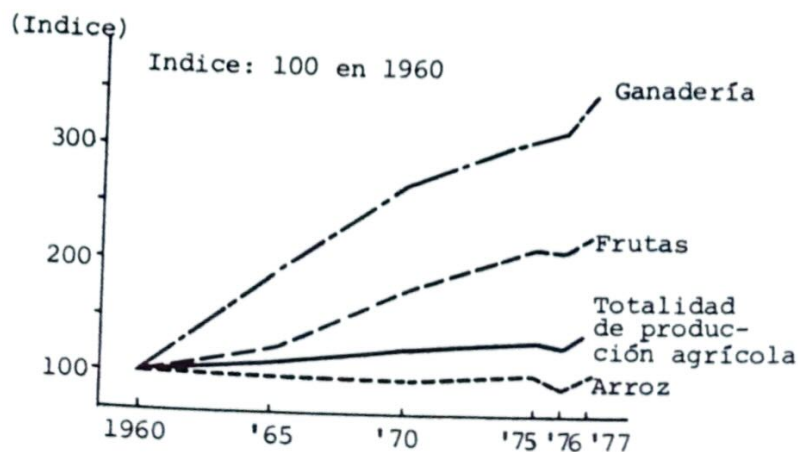
En la posguerra, la agricultura japonesa ha experimentado un gran cambio, especialmente, durante el período del crecimiento económico después del año 1955, es decir, la alimentación se ha mejorado notablemente, a la vez, se ha diversificado a medida que se elevó el nivel de la renta nacional.

Y, en consecuencia, ha bajada la proporción del cultivo de cereales, tales como: arroz, cebada, etc. y de la sericultura; en cambio, se ha elevada la proporción de productos ganaderos, frutas, verduras y de otros.

Como se señala en la Fig. 4, el índice de producción de arroz carece de fuerza ascendente en los últimos años, por consiguiente la proporción de arroz dentro de la suma total de producción agrícola bajó alrededor del 50% en 1960 al 40% en 1975, esta disminución se debe a que había venido ajustando la producción del mismo desde 1971 con la bajada de su consumo.

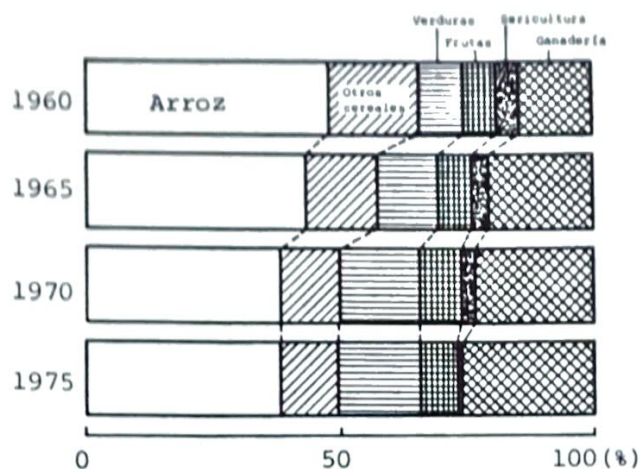
Por el contrario, el índice de producción de ganadería sigue un ritmo ascendente, habiendo sido 3,5 veces mayor con relación a 1960, como consecuencia, la proporción ocupada dentro de la suma total de producción agrícola se incrementó del 15% en 1960 al 25% en 1975.

Aunque la estructura productiva ha cambiado en conformidad con la demanda de los pueblos, considerado en la totalidad de producción agrícola, se había registrado un incremento positivo del 1,3% por término medio a partir del año 1960 hasta el año 1975.



Datos: Índice de producción agrícola y pesquera por el Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca

Fig. 4 Evolución del índice de producción agrícola



Datos: Estadística sobre la renta de los productores agrícolas por el Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca

Fig. 5 Evolución de la composición de la producción agrícola

B. Trabajadores Dedicados a la Agricultura

En el Japón, se había constituido una envergadura agrícola con 5,5 a 6,6 millones de familias agrícolas y 6 millones de hectáreas de superficie cultivada en la década de 1910.

Esta envergadura no había alterada en gran medida excluyendo a la época durante la segunda guerra mundial y a un período en posguerra.

Sin embargo, el número de familias agrícolas continuó la merma durante el período del crecimiento económico después del año 1965, lo que queda demostrado con el hecho que el mismo bajó de 6,06 millones de casas de labranza en 1960 a 4,95 millones en 1975 y, también se ha transfigurado notablemente el carácter de familias agrícolas.

El citado número representa una disminución de 1,10 millones durante 15 años, pero se frenó esta merma con la bajada de la tasa de crecimiento económico en los últimos años.

Los agricultores se clasifican en los tres siguientes tipos: agricultor de tiempo, agricultor temporal No. 1 y agricultor temporal No. 2.

Por agricultor temporal No. 1 se entiende que la renta agrícola sobrepasa la renta ajena a la agricultura.

Por agricultor temporal No. 2 se entiende que la renta ajena a la agricultura sobrepasa la renta agrícola.

En 1960, cada uno de los tres tipos de agricultores sumaba una tercera parte del total, pero luego empezó a disminuirse la proporción de agricultor de tiempo a un ritmo acelerado, al contrario, se incrementó la proporción de agricultor temporal, sobre todo, la de agricultor temporal No. 2 y en 1975, había quedado sus proporciones por orden de agricultor temporal No. 3, No. 1 y agricultor de tiempo con sus respectivos resultados del 12%, el 25% y el 62%.

En tales circunstancias, como consecuencia natural se ha producido una gran transfiguración tanto en el sistema de producción agrícola como en la sociedad rural.

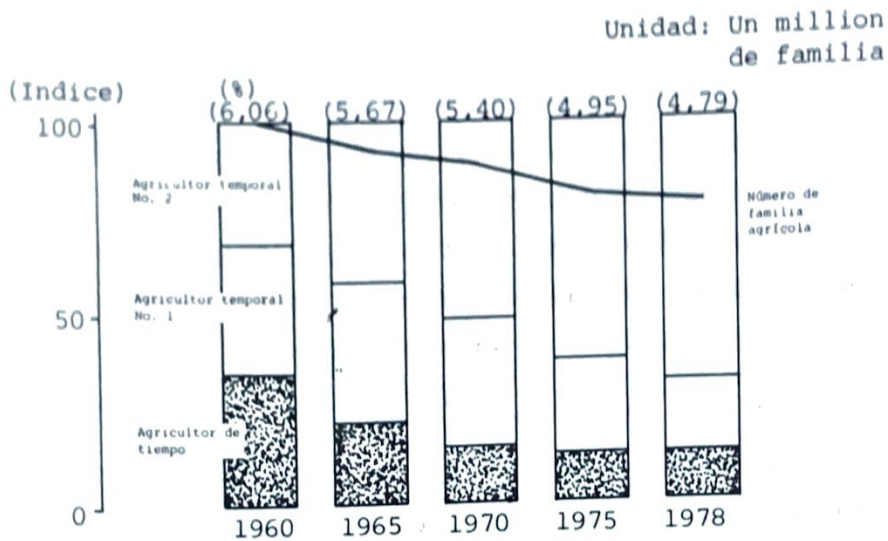
Por otra parte, la mano de obra agrícola ha venido bajando de 14,5 millones de hombres en 1960 a 7,9 millones en 1975.

De misma manera, los agricultores principales quienes se encargan del futuro de la agricultura japonesa cuentan solamente unos 1,30 millones de hombres en 1977 y las familias agrícolas que pueden contar con ellos son aproximadamente de 1,10 millones.

Sin embargo, estas familias agrícolas se encargan el orden del 50% de superficie cultivada (el orden del 60% de la totalidad de producción agrícola), y se consideran como el núcleo de la agricultura japonesa.

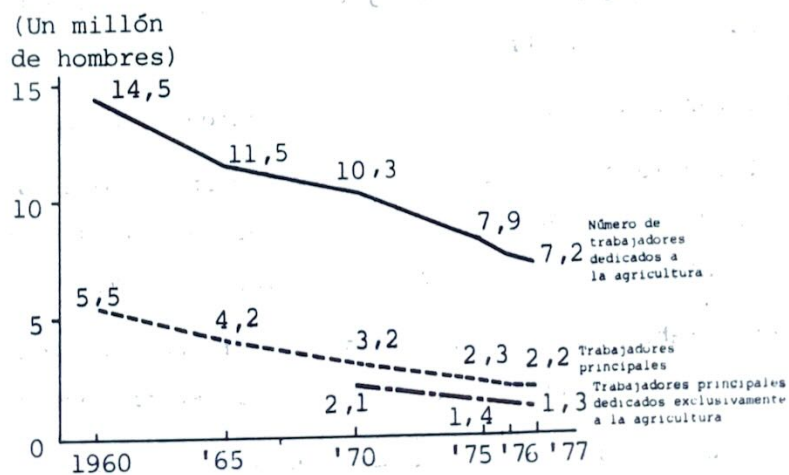
Por otra parte, unas un millón de casas de labranza cuyas cabezas de familia tienen más de 50 años de edad no tienen sus sucesores. De ahora en adelante, se supone que bastante número de familia agrícola no podría mantenerse sus actividades agrícolas a medida que sus cabezas de familia entran en la vejez.

De tal manera, es probable que se produciría un gran cambio en el futuro en la mano de obra agrícola, y se cree que la educación de los agricultores entusiastas será el tema primordial para mantener la agricultura japonesa.



Datos: "Censo de Agricultura" e "Investigación de Agricultura" por el Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca.

Fig. 6 Número de familia agrícola y evolución de la composición de los tipos de agricultores



Datos: "Censo de Agricultura" e "Investigación de Agricultura" por el Ministerio de Agricultura, Silvicultura y Pesca.

Fig. 7 Evolución del número de trabajadores dedicados a la agricultura

C. Tierra Cultivada

La superficie cultivada del Japón se mantenía un nivel de unas 6 millones de hectáreas desde el período anterior a la segunda guerra mundial hasta el año 1965, pero con motivo del crecimiento económico, se habfan venido aplicando los terrenos cultivados a los terrenos reservados para industrias o para viviendas, y la superficie su-
prida sobrepasa la superficie preparada, habiendose disminuido los mismos a 5,57 millones de hectáreas en 1975, o sea, durante los 15 años a partir de 1960 hasta 1975 unos un millón de hectáreas de terrenos cultivados se aplicaron a los otros fines, mientras se prepararon unos 500.000 ha de terrenos agrícolas, por lo tanto se ha desaparecidos unos 500.000 ha de terrenos cultivados.

El detalle de los terrenos agrícolas es lo siguiente:

Arrozal: aunque se disminuye continuamente con motivo del ajuste de su producción, la superficie total del mismo aún ocupa el 57% de la totalidad de los terrenos agrícolas ya que la producción de arroz es la más importante actividad agrícola en el Japón.

Pradera: sigue incrementandose con la expansión de la ganadería.

Huerta general y frutal: existe una tendencia de declinación.

La tasa de aprovechamiento de terreno agrícola ha bajada del 134% en 1960 al 104% en los últimos años.

Esta hecho se debería probablemente a las siguientes razones:

- Se ha cultivada la cebada como el cultivo de invierno en arrozal, pero la tasa de aprovechamiento ha bajada del 34% al 9% con motivo de la baja rentabilidad y del aumento de los emigrantes.
- Se ha puesto trabas el cultivo en algunos terrenos agrícolas entre montaña en donde los factores de localización están desfavorables.

Dado que en el Japón, la proporción del terreno cultivado que ocupa en la totalidad de territorio nacional es muy pequeña y, que cada familia agrícola posee solamente una hectárea de terreno cultivado en término medio, es indispensable sacar el mejor partido de sus

propios terrenos para que no reduzca más la superficie de los mismos.

Por supuesto, para tal fin, se hace necesario impulsar la mejora de terrenos cultivados tales como: la delimitación de los mismos, el arreglo de las instalaciones para que pueda manejarse libremente el riego o el drenaje, etc., así como habrá que tomar las medidas de tal manera que las familias agrícolas de tiempo puedan acumular el derecho de propiedad o el usufructo de los terrenos agrícolas.

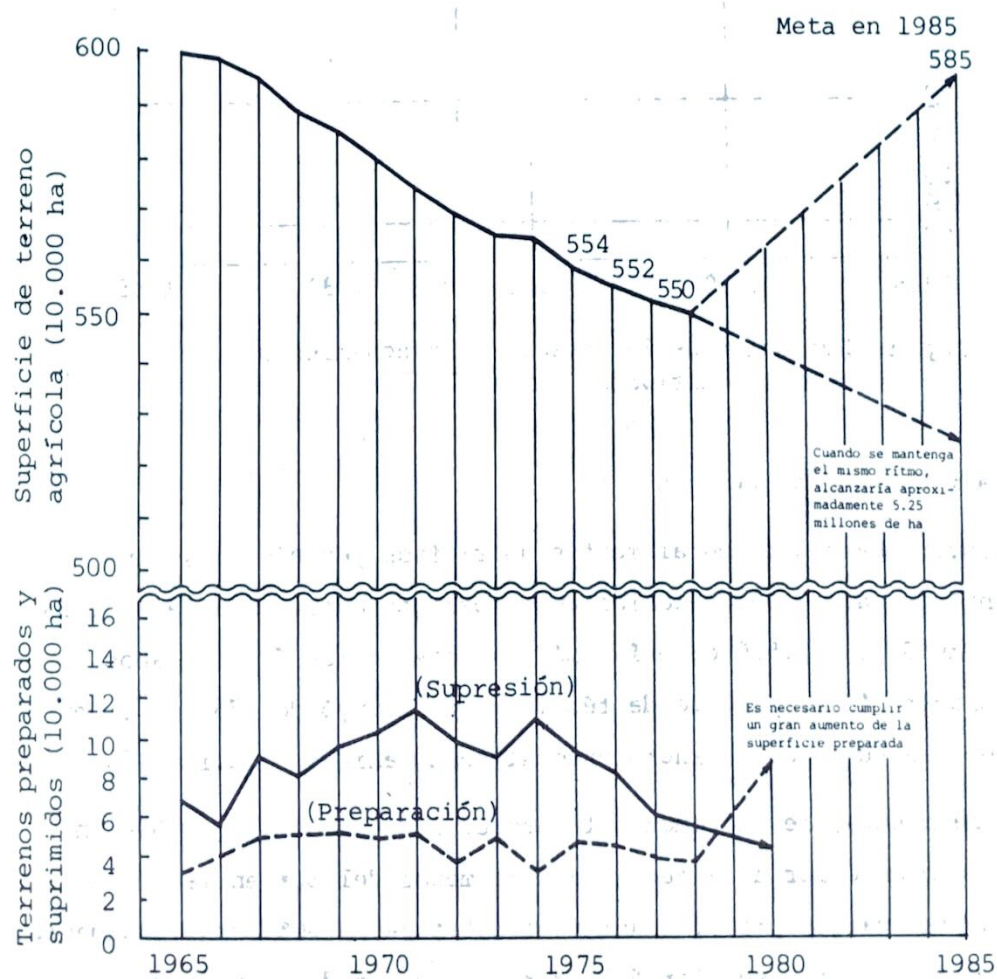


Fig. 8 Evolución de la superficie de terreno cultivado

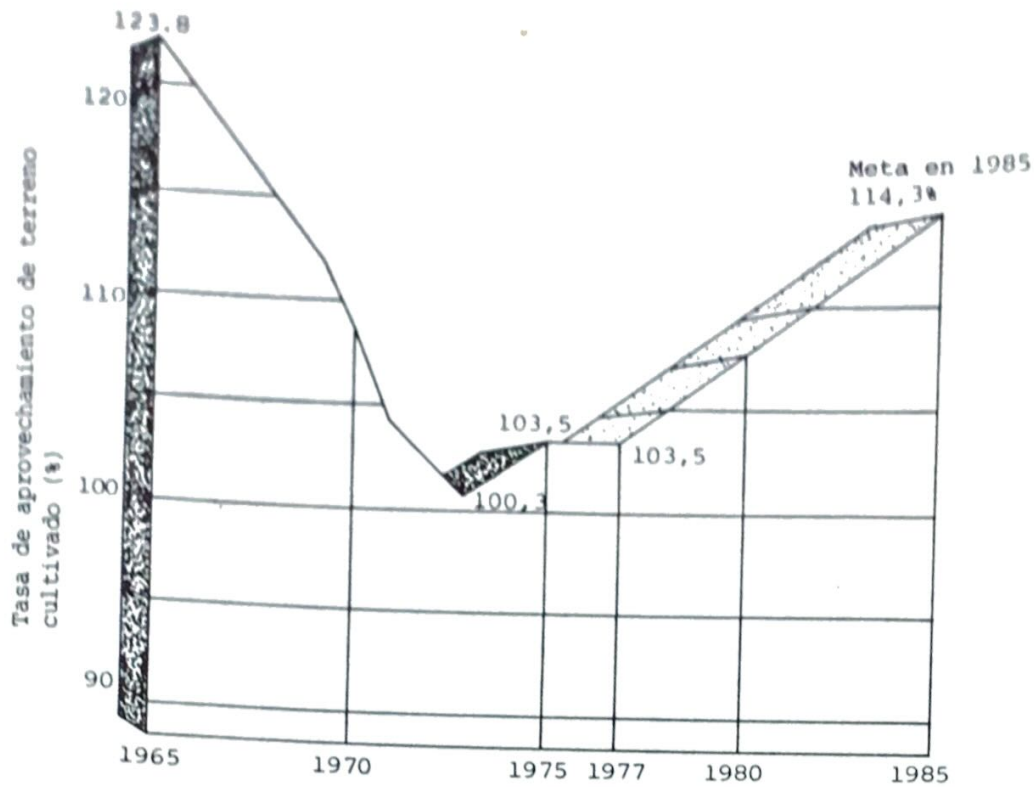


Fig. 9 Evolución de la tasa de aprovechamiento de terreno cultivado

D. Oferta y Demanda de víveres

El volumen abastecido de alimentos nutritivos per cápita se incrementó de unas 2.000 calorías en el período anterior a la segunda guerra mundial a 2.500 calorías más o menos en los últimos años, y la proporción componente de fécula se disminuyó del 75% al orden del 50%, en su lugar se incrementó alimento animal o aceite y grasa.

De misma manera, se incrementó la proteína de algo más del 50% en el período anterior a la guerra a algo menos del 80% en la actualidad, de la cual la proteína animal constituye el 50% aproximadamente, y, en consecuencia, se alargó la duración media de la vida y el Japón llegó a ser una de las naciones que gozan de más larga vida.

La elevación del nivel de nutrición de los japoneses se activó a partir del año 1960 en el que se inició una expansión del desarrollo económico, y este hecho se debe a que se enriqueció la alimentación con el aumento de gasto de los alimentos a medida que se elevó la renta nacional.

Como se ha dicho anteriormente, se incrementaron las producciones de productos ganaderos, frutas y verduras a un ritmo acelerado respondiendo a la tendencia de consumo de los pueblos, en cambio, se disminuyeron las producciones de cebada y soja debido a la baja rentabilidad, y para colmo, se vió obligado a importar la cantidad enorme de alimentos para los animales domésticos que aumentaron con presteza, como consecuencia, la tasa autárquica general de productos agrícolas comestibles (la base de precio) bajó del 90% en 1960 al orden del 70% en los últimos años. De misma manera, la tasa autárquica de cereales (la base de peso) se disminuyó del 83% al 40% durante el mismo período.

Por otra parte, si comparamos las cifras registradas en los países occidentales según las respectivas evoluciones de tasas autárquicas de cereales, en todo caso, las cifras de aquellos países sobrepasan las del Japón y, también, habrá de subrayar el hecho de que incluso en la Gran Bretaña, la cual es un país importador de una gran cantidad de víveres como el Japón, se ha elevada la tasa autárquica de víveres en los últimos años.

El Japón también debe esforzarse por elevar su tasa autárquica, para tal fin, es menester que se fortalezca el sistema de producción agrícola en el país, sobre todo, se adelante el arreglo del fundamento agrícola.

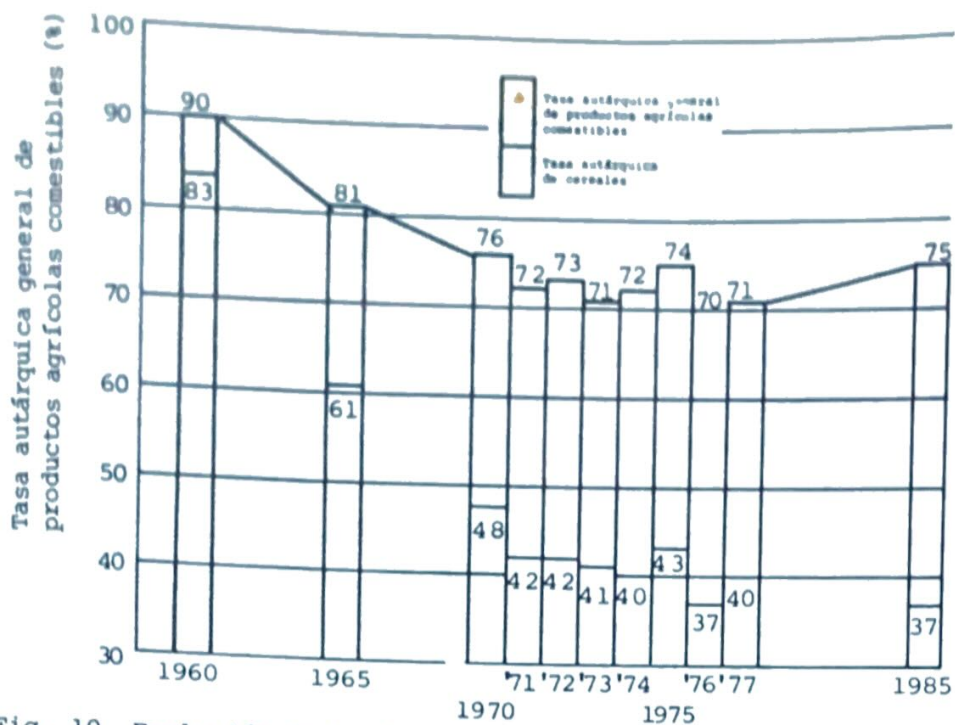


Fig. 10 Evolución de la tasa autárquica general de productos agrícolas comestibles

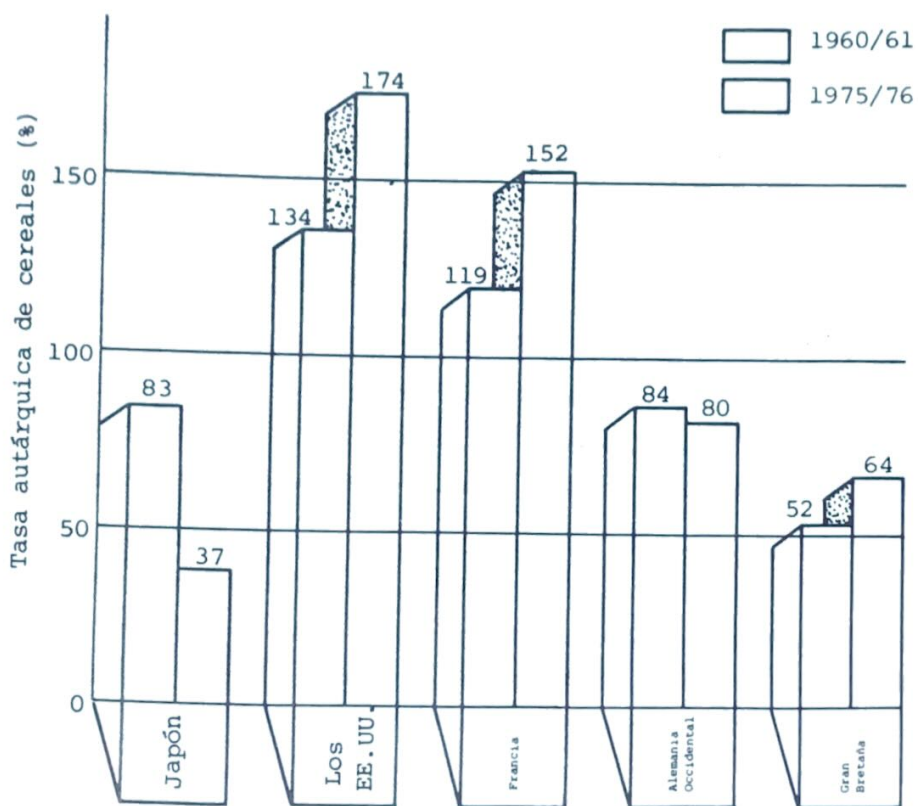


Fig. 11 Evolución de la tasa autárquica de cereales

Con motivo de la Restauración de Meiji el Japón entró en el régimen capitalista cambiando de la sociedad basada en agricultura, industria y comercio.

Sin embargo, el Gobierno atribuyó importancia a la agricultura como el sostén del país y fue adelantado el desarrollo de terrenos agrícolas.

En 1899, el Gobierno estableció la "Ley de Arreglo de Terreno Cultivado", por la cual el arreglo de delimitación de terrenos cultivados llegó a ser apoyado legalmente por primera vez. Como resultado, progresaron la desecación de arrozal y el cultivo con animales por el sistema de desagüe subterráneo y el arreglo de terrenos cultivados, así como la capacidad productiva se incrementó a pasos agigantados por el mejoramiento de variedades y la fertilización.

En 1945, con la terminación de la segunda guerra mundial, fue realizada la reforma agraria, así como fue fundada la actividad de explotación apremiante con el objeto de aumentar la producción de víveres y de las medidas contra el paro.

En 1949, fue establecida la "Ley de Mejoramiento de Terreno", por la cual evolucionó la actividad de arreglo de fundamento agrícola en posguerra y, en consecuencia, fueron realizadas las actividades de gran escala tales como: arreglo del riego de Toyokawa y de otras instalaciones de irrigación, desarrollo de terrenos agrícolas, arreglo de campos y de caminos agrarios, etc. llegando a la edad de oro sobre la actividad de arreglo de fundamento agrícola.

En los últimos años, ha venido a realizar no sólo el arreglo de terrenos cultivos sino también el arreglo del medio ambiente de región rural.

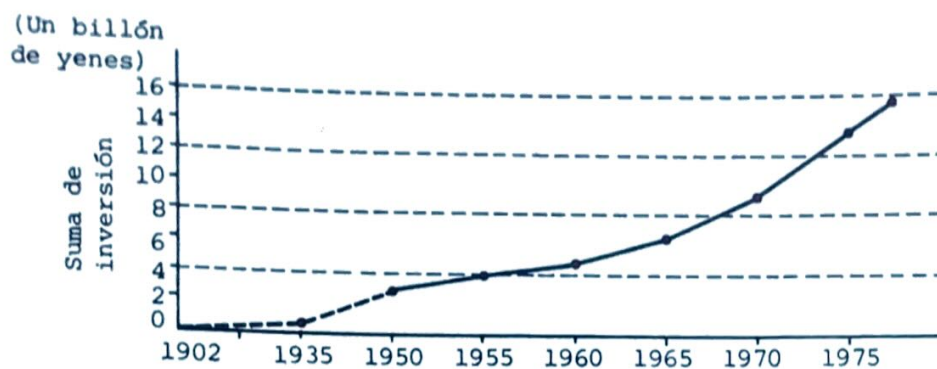


Fig. 13 Suma de la inversión para el arreglo de infraestructura agrícola (desde el año 1901 hasta el año 1977)

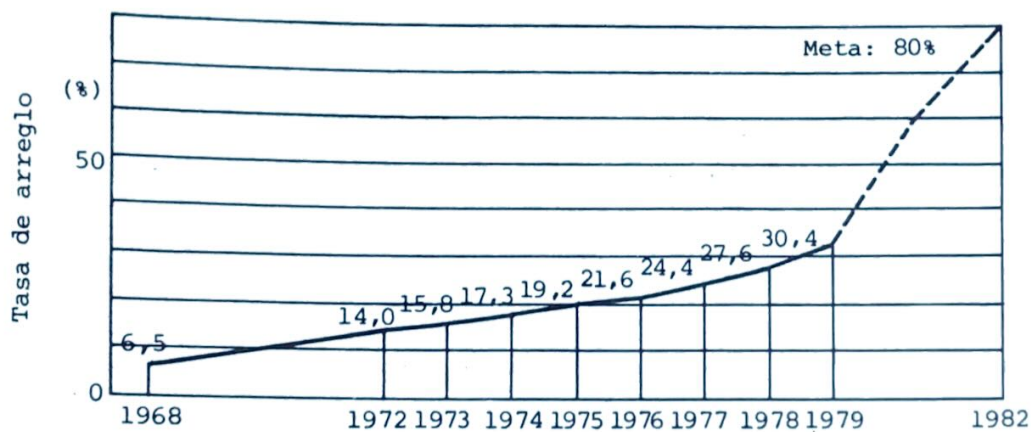


Fig. 14 Evolución de la tasa de arreglo de terrenos cultivados

III. HISTORIA DEL ARREGLO DEL FUNDAMENTO AGRICOLA EN EL JAPON

Dicen que se introdujo el cultivo del arroz al Japón hacia el siglo tercero antes de Cristo.

Para el cultivo del arroz, es necesario asegurar el riego y rodear el arrozal con borde y lomo entre surco por todos los lados allanando la superficie del mismo. Este es el arreglo inicial del fundamento agrícola en el Japón.

En aquella época, fueron desarrollados los arrozales en las faldas de colinas o en los puntos de abanicos aluviales de ríos donde puedan evitar los daños de desbordamiento fluvial, pero posteriormente, también fueron desarrollados las llanuras aluviales situadas en la parte más baja de ríos.

En realidad, fueron descubiertos el arrozal deslindado en buen orden y el vestigio de viviendas colectivas como un ejemplo típico de alrededor del siglo II antes de Cristo.

En más antigüedad, fueron construidos sepúlcro antiguo, estanque para el riego o canal de irrigación con la difusión de utensilios de hierro, y la capacidad productiva de agricultura adelantó a pasos agigantados.

Pocos después, se produjeron conflictos entre varias bribús y finalmente, se unificó el Japón por la raza Yamato, la cual poseía más poder económico.

Posteriormente, se difundió el sistema lineal de terreno cultivo, por el cual los terrenos cultivos fueron deslimitados en orden por los puntos cardinales.

Este sistema se considera como la primera delimitación de terreno agrícola, el que aún se utiliza en nuestro tiempo subsistiendo desde hace más de mil años.

En alrededor del siglo X, con el desarrollo de los granjas pertenecidas a los aristócratas, fueron realizados construcción de estanques para el riego y apertura de terrenos incultos en varios lugares.

A partir del desarrollo rápido de la jerarquía de Samurai, fueron adelantados más habilitación de tierra, arreglo de instalación de irrigación, etc. echando raíces profundas el régimen feudal a base de los feudos.

Desde hacia el siglo XVI, fueron desarrollados activamente nuevos arrozales por todas las partes del país, así como realizadas geodasia de terrenos y conjetura de rendimiento a escala nacional.

Se supone que la superficie total de terrenos cultivados de aquellos tiempos llegó a ser aproximadamente de 1,50 millones de hectáreas.

A partir del siglo XVII, fueron adelantados desarrollos de arrozales y riegos en gran escala.

Las instalaciones de irrigación que hoy en día pueden encontrarse en varios lugares fueron desarrolladas en aquellos tiempos.

De esta manera, continuó el desarrollo y, en consecuencia, la superficie total de terrenos cultivados aumentó de 3 millones de hectáreas al final del siglo XVII a 4,5 millones al final del siglo XIX.

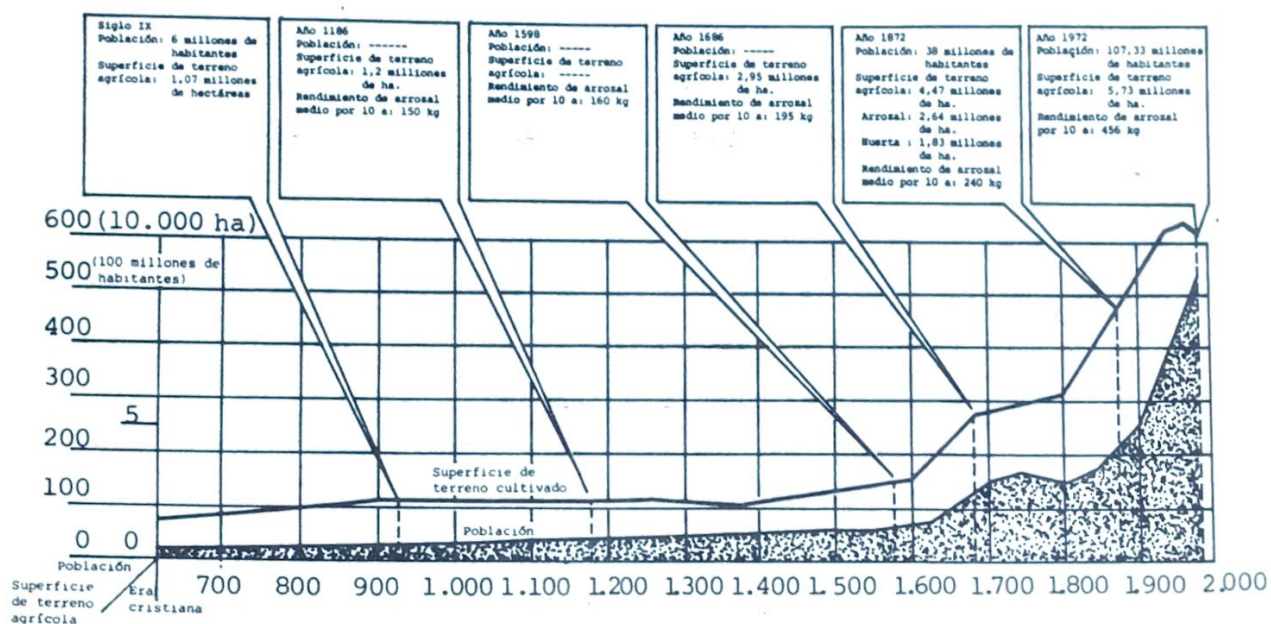


Fig. 12 Evolución histórica de la superficie de terrenos cultivados

IV. MECANISMO DE LA OBRA SOBRE EL ARREGLO DE INFRAESTRUCTURA AGRICOLA

A. Clase y Objeto

En el Japón, la obra sobre el arreglo de infraestructura agrícola cubre amplios campos.

Esta Obra, en una palabra, tiene por objeto arreglar las condiciones de aguas y tierras adaptadas a la producción agrícola teniendo en cuenta el mejoramiento, desarrollo, mantenimiento y la colectividad y, para colmo, en estos días también se atribuye gran aprecio al arreglo del ambiente que rodea la vida de región rural.

Las obras sobre el arreglo de infraestructura agrícola en el Japón se dividen en diversas clases según el detalle o la virtud resultante de las mismas.

El subsidio y el criterio para la adopción sobre las obras se determinan por el Estado averiguando en cada una de ellas.

Dentro de las obras del riego y drenaje, o las de desarrollo de terreno agrícola, las que sean relativamente de gran escala o que sirvan de base para la región se realizan por el Estado como las obras estatales.

De misma manera, respecto a las obras que sean de gran escala y, además, las que tienen por objeto explotar recursos acuáticos o desarrollar terrenos agrícolas en la región determinada, se efectúan por la Corporación de Explotación de Recursos Acuáticos o por la Corporación de Desarrollo de Terrenos Agrícolas.

Entre estas obras, las que sean de pequeña escala y que no caben contar como las obras estatales; las que tienen por objeto arreglar la delimitación de campos y caminos agrarios; cumplir el mejoramiento sintético de huertas; prevenir el desastre de terrenos agrarios o de instalaciones agrícola; arreglar la base de producción y el medio ambiente en región rural; etc. se llevan a cabo por las colectividades autónomas regionales o las entidades públicas regionales según sus envergaduras.

Las obras que no caben contar en las esferas arriba mencionadas se arreglan por el sistema de financiación de la Institución de Crédito Financiero de Agricultura, Silvicultura y Pesca.

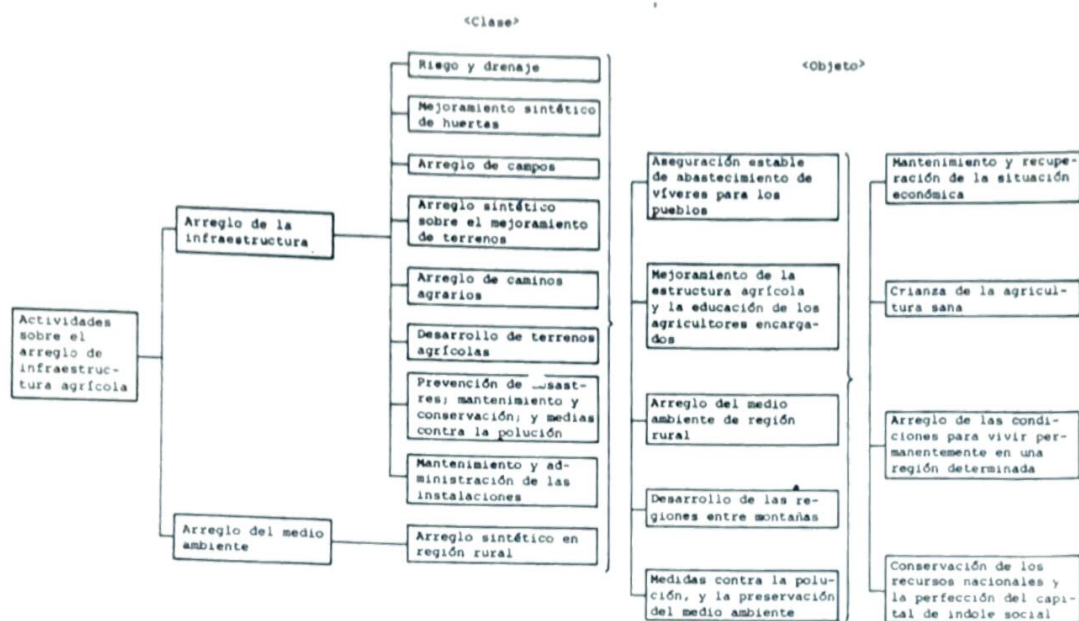


Fig. 15 Clase y objeto de las actividades sobre el arreglo de infraestructura agrícola

B. Subsidio, Carga y Reembolso

El objeto del arreglo de la base de producción agrícola y del ambiente que rodea la vida en región rural consiste en mejorar el bienestar social, y las organizaciones estatales, municipales o las entidades públicas tienen como finalidades básicas el arreglo de las condiciones de aguas y tierras, las cuales se consideran como los bienes públicos que sean difíciles dominar individualmente y, para colmo, estas obras requieren tan importante suma de inversiones que la actividad económica individual no pueda cubrirla, de manera que al realizar dichas obras, el Estado presta ayuda financiera.

Por otra parte, la obra sobre el arreglo de infraestructura agrícola proporciona no sólo el aumento de la capacidad productiva sino también el beneficio privado a cada uno de los agricultores, razón por la cual los beneficiarios también cargan una parte del costo de explotación según la solvencia y el grado de beneficio. Respecto a los costos de obras, el sistema de ayuda estatal varía según la envergadura, la organización encargada o la división regional de obras, pero se determina la proporción de su ayuda o carga teniendo en cuenta sus aspectos oficiales y privados de las mismas, por lo común, las entidades públicas regionales ayudan o cargan una parte del costo de explotación.

En el caso de que los beneficiarios se hagan cargo de sus propios fondos como una parte del costo de obra, por más validez que proporcione la misma, dicha validez no se revela hasta que termine citada obra y, además, si los beneficiarios desembolsasen dichos fondos a un tiempo, sus cargas serían demasiado pesadas.

Para resolver esta cuestión, la Institución de Crédito Financiero de Agricultura, Silvicultura y Pesca a la cual es Estado aporta una parte del capital, establece un crédito llamado "Fondos para el Arreglo de la Base Agrícola", facilitándolo a largo plazo y a un interés bajo para los interesados que desean participar en dicha obra.

Cuadro 1 Criterio de la adopción de actividad, la tasa de ayuda y la proporción de carga local del costo de explotación, así como las condiciones de financiación y reembolso

División de obra	Organismo encargado de obra	Criterio de la adopción, el detalle	Proporción de carga del costo de explotación(%)			Condiciones de financiación y reembolso sobre los fondos cargados por los beneficiarios locales		Escala grande Escala media Escala pequeña
			Estado	Provincia	Localidad	Tipo de interés (%)	Término de reembolso (años)	
Obra sobre el riego y drenaje	Estado	Superficie beneficiada: más de 3.000 ha.	60 (58)	20 (21)	20 (21)	5,0	17 (2)	Escala grande
	Provincia	Superficie beneficiada: más de 200 ha.	50	25	25	6,05	25 (10)	Hasta 3 millones de yenes por un beneficio: la suma requerida. Más de 3 millones de yenes por un beneficio: la suma equivalente al 80% de la requerida.
	Entidad pública	Superficie beneficiada: más de 20 ha.	45	-	55	5,05	25 (10)	Escala pequeña
Desarrollo de terreno agrícola	Estado	Superficie preparada: más de 400 ha.	75 (74)	12,5 (13)	12,5 (13)	5,0	15 (3)	Escala grande
	Provincia	Superficie preparada: más de 40 ha.	65	17,5	17,5	6,05	25 (10)	Escala media
	Entidad pública	Superficie preparada: más de 10 ha.	55	-	45	5,05	25 (10)	Escala pequeña
Agreglo de campo	Provincia	Superficie beneficiada: más de 200 ha. (60ha)	45	27,5	27,5	6,05	25 (10)	ditto
	Entidad pública	Superficie beneficiada: más de 20 ha.	45 (40)	-	55 (60)	5,05	25 (10)	
Sin subsidio	Agricultor común		-	-	100	4,5	25 (10)	
	Aligeramiento del tipo de agrario, etc.	Riego, drenaje, arreglo de campo, camino agrario, etc.	-	-	100	3,5	25 (10)	

C. Plan a Largo Plazo

La obra sobre el arreglo de infraestructura agrícola se lleva adelante de acuerdo con el plan a largo plazo al igual que las obras públicas ordinarias. Según el plan a largo plazo, durante el período de 10 años a partir de 1973 hasta 1982, se dispone a invertir 13 billones de yenes para cumplir el arreglo del 80% de la totalidad de terrenos agrícolas.

El período del plan a largo plazo de las obras públicas, incluyendo obras para la regularización del curso fluvial será generalmente de 5 años, en cambio, el de la obra del arreglo de fundamento agrícola es de 10 años, este se debe a que es necesario ejecutar dicha obra de acuerdo con el plan a más largo plazo en vista de la característica de agricultura.

En cuanto a la marcha del plan a largo plazo, la tasa de realización de la suma de inversión prevista es del 57% más o menos, arrojando unos 7,4 billones de yenes durante los 7 años (hasta 1979), de manera que, con este ritmo, es probable que pueda cumplirse debidamente la meta de inversión proyectada.

Sin embargo, en cuanto a la meta de arreglo, la tasa de realización es solamente del 30% de la totalidad de terrenos agrícolas debido a que está subiendo más de lo razonable el costo de obra, sobre todo, encareciéndose el petróleo.

Por otra parte, con el objeto de realizar tanto el desarrollo estable de economía como la perfección de la vida nacional, el Gobierno determinó un nuevo plan septenal de desarrollo económico-social (1979 - 1985), fijando la orientación de administración económica a medio plazo en conformidad con el estado de economía en el momento a que se enfrente.

Según dicho plan, se dispone a efectuar una inversión pública superior a la suma del plan anterior en reflejo de la exigencia fuerte de los pueblos sobre el abastecimiento estable de víveres.

Para lograr la perfección de la vida nacional a largo término, es necesario utilizar efectivamente los recursos territorial, y para

tal fin, fue determinado el "Plan Nacional de Desarrollo Integral No. 3" en 1977.

Dicho Plan pone énfasis en aceleración del arreglo tanto de terrenos agrícolas como de recursos acuáticos los cuales son indispensables para la producción agrícola y está considerando de nuevo la importancia de la obra sobre el arreglo de fundamento agrícola.

Cuadro 2 Resultados reales de la inversión en el plan a largo plazo

(Unidad: 100 millones de yenes, %)

	Plan a largo plazo (1973 - 1982)	Resultados reales de la inversión								Tasa de realización
		1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	Total	
Obra bajo el control del Estado, obra con subsidio	112.000	6.083	6.172	7.214	8.328	11.477	13.951	15.880	69.106	61,7
Obra con financiación	8.000	457	557	661	734	792	667	662	4.520	56,5
Subtotal	120.000	6.540	6.729	7.865	9.062	12.270	14.618	16.542	73.626	61,4
Fondo de emergencia	10.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	130.000	6.540	6.729	7.865	9.062	12.270	14.618	16.542	73.626	56,6

Cuadro 3 Suma de inversión pública por el Gobierno en la sección agrícola del Plan Nuevo de Desarrollo Económico

	Plan de Desarrollo Económico (1976-1980)		Plan Nuevo de Desarrollo Económico (1979 - 1985)		
	Suma de inversión	Cuota	Suma de inversión	Cuota	Aumento respecto al plan anterior
Suma total de la inversión pública	(100 millones de yenes) 1.000.000	(%) 100,00	(100 millones de yenes) 2.400.000	(%) 100,00	(multiplicado por) 2,40
Agricultura, silvicultura y Pesca	69.900	6,99	181.500	7,56	2,60
Agricultura	53.000	5,30	136.500	5,69	2,58

(Nota) La suma de inversión pública es la suma invertida por el Estado y la Entidad Pública.

D. Mecanismo de La Obra del Riego y Drenaje

Entre las obras de construcción o reforma de las instalaciones de riego y drenaje, las obras de gran escala tales como: presa, dique para la toma de agua, canal principal de irrigación e instalación básica de aprovechamiento de agua, se llevan a cabo como la obra estatal o provincial.

En el caso de que se realicen las obras de riego y drenaje, y que la superficie beneficiada sea más de 3.000 ha, el Estado se encargará de la obra en la parte principal siempre que la superficie de dominación sea menos de 500 ha.

De misma manera, la obra en la parte contigua a la citada parte principal cuya superficie de dominación sea menos de 100 ha se llevará a cabo por la colectividad autónoma regional, así como la obra en la parte restante de la escala pequeña se realizará por la entidad pública regional.

De tal manera, las obras de riego y drenaje se realizan en conjunto, variando las organizaciones que se encargan de las mismas según sus respectivas envergaduras, o sea, el mecanismo de las obras de riego y drenaje en el Japón se caracteriza por citada clasificación de obras, y esta es lo mismo que las carreteras se clasifican en carretera nacional, provincial y municipal, y que el sistema de circulación se controla en conjunto.

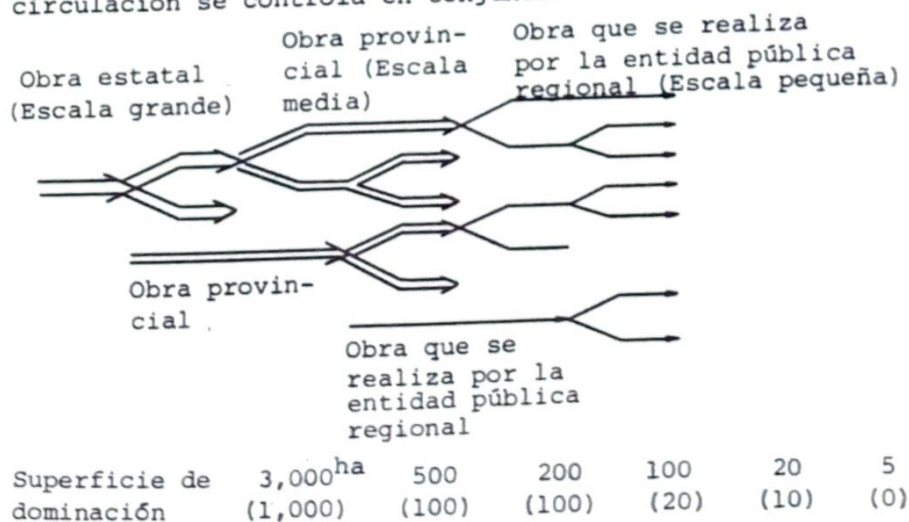


Fig. 16 Mecanismo de las obras de riego y drenaje

Cuadro 4 Requisito para la adopción de las obras de riego y drenaje

Clasificación	Territoria central		Hokkaido		Okinawa		Nota
	Superficie beneficiada	Superficie de dominación	Superficie beneficiada	Superficie de dominación	Superficie beneficiada	Superficie de dominación	
Obra estatal	3.000	500	1.000	500	1.000	200	Escala grande
Sin instalación en la actualidad (Riego para huertas, Desarrollo de arrozales)	1.000	100	-	Drenaje 200 Huertas 100	-	Huertas 50	
Estanque para el riego	-	-	500	500	500	200	Escala media
Desagüe	-	-	300	100	100	50	
Obra provincial	200	100	200	100	100	5	Escala pequeña
Huertas	100	20	100	20	50	0	
Estanque para el riego	-	-	50	50	-	-	Escala pequeña
Desagüe	-	-	100	20	-	-	
Obra que se realiza por la entidad pública regional	20	5	20	5	10	5	Escala pequeña
Región especificada	10	5	10	5	Huertas 0	0	

ESTADO ACTUAL DEL RIEGO POR GOTEO EN LOS EE.UU.

Por: Dr. Lyman S. Willardon
Profesor del Dpto. Ingeniería Agrícola y Riego.
Universidad Estatal de Utah Logan, Utah, U.S.A.

TRADUCIDO POR: Ing^o Roberto Rivera
Director Recursos Hídricos, de Hondu
ras.

El uso del riego por goteo en los Estados Unidos esta incremen
tándose en forma sostenida. En 1980, 35 Estados registraron un to
tal de aproximadamente 160.000 Has., bajo todas las formas de rie-
go por goteo, 15 Estados no registraron ningún riego por goteo.

Aquellos Estados que tienen importantes áreas que son irrigadas
por goteo continúan creciendo.

El Estado con la máxima cantidad de riego por goteo es Californ
ia, el cual tiene más del 75% del área irrigada por goteo en los
Estados Unidos. Los siguientes Estados en orden de importancia son:
FLORIDA, HAWAI y TEJAS. Una interesante estadística es que sólo -
el 3% del área regada de California está irrigada por goteo más del
16% de la irrigación en Hawai es por goteo. En Nebraska solamente
el 0.001% del área irrigada es bajo goteo.

Riego por goteo se ha tornado y ha sido aceptado como una forma
de irrigación. Está siendo usado en aquellos cultivos donde las ven
tajas especiales del riego por goteo son importantes por razones -
económicas y físicas. El más importante cambio en recientes años
es el hecho de no escoger riego por goteo por razones de novedad.

El riego por goteo está siendo seleccionado porque es el sistema más práctico para las condiciones físicas, además los agricultores no están siendo influenciados por reclamos excesivos para economizar agua y obtener incrementos extremos de producción.

Ellos encuentran en el riego por goteo como una de las tecnologías de riego disponibles para resolver sus problemas de irrigación.

En la historia temprana del riego por goteo en los Estados Unidos un científico comentó que si el riego por goteo causaba un incremento en la producción, había algo erróneo en los sistemas de riego usados previamente. Él miró el riego por goteo simplemente como otro método para la aplicación del agua de riego.

Su punto de vista es que las plantas no le dan mucha importancia a como el agua es aplicada a ellas. Riego por goteo no realiza milagros. Los regadores han encontrado que es muy fácil realizar un trabajo pobre en riego inclusive con un sistema por goteo.

Un sistema de irrigación que está adecuadamente diseñado, apropiadamente instalado, operado y mantenido podrá asegurar rendimientos máximos desde el punto de vista del riego. Riego por goteo es uno de estos sistemas.

Uno de los más recientes cambios en el riego por goteo en los Estados Unidos fue la combinación de la Asociación de Riego por goteo con la Asociación de Riego por Aspersión. La organización conjunta es conocida como Asociación de Ingeniería (AI).

La revista de esta Asociación ahora presenta ambos tópicos y las reuniones anuales son combinadas.

La reunión de 1981, se realizó en la ciudad de Salt Lake, - habiendo una gran concurrencia y, una importante exposición comercial. Los fabricantes comerciales venden equipo tanto de goteo como de aspersión. La combinación de ambas asociaciones en una ha hecho posible atraer más gente y más exposiciones comerciales. Las discusiones técnicas estan separadas pero la gente atiende ambas. Los ingenieros en riego dependiendo de las necesidades diseñan ambos tipos de sistemas.

La investigación en riego por goteo se ha reducido recientemente, los investigadores no estan preocupados en probar que el riego por goteo ahorra agua y produce mayores rendimientos, ellos estan trabajando en los problemas técnicos. Ellos también estan utilizando el riego por goteo como una herramienta - de la investigación porque les dá un control preciso del agua.

Los más importantes problemas técnicos que estan recibiendo la atención de los investigadores son: El área a ser humedecida, filtración y obstrucción, distribución de fertilizantes y - manejo de agua. En la actualidad no hay buenas respuestas a estas preguntas.

Algo significativo ha sido la amplia aceptación del micro-rociadora para el riego de frutales porque puede ser usado en árboles ya establecidos.

El costo es otro factor, el precio de un micro-rociador es aproximadamente igual al costo de un emisor y el micro-rociador puede irrigar tanta área como cuatro emisores. Filtraciones y obstrucciones son problemas continuos. Los fabricantes están tratando de reducir los requerimientos de filtración mejorando el diseño del emisor. Los científicos están trabajando en problemas de obstrucción causados por bacterias que crecen en las tuberías después que el agua a pasado el filtro. El problema de fertilización no ha sido resuelto, la aplicación de fertilizantes granulados sobre la superficie es apropiado - para riego con micro-aspersor, es más efectivo en riego por goteo, todavía se requiere mucho más investigación.

Las expectativas en los Estados Unidos es que el uso de riego por goteo se incrementará a una tasa sostenida en el futuro. El riego por goteo minimiza las pérdidas de agua y es muy adaptable a la automatización. La mano de obra especializada es cara y difícil de encontrar así que la automatización es una ventaja.

Utilizando California como un ejemplo de los recientes cambios en las áreas bajo riego por goteo, el cambio por año puede ser visto en la tabla No. 1.

TABLA 1. Hectárea de riego por goteo en California por año.

1971	1975	1976	1977	1978	1979	1980
16,000	16,000	50,000	50,000	50,000	82,000	123,000

La tabla muestra un reciente incremento en área que podría no continuar así. El costo de la energía entre otras cosas ha reducido los cambios de un tipo de sistema de irrigación a otro. Los agricultores están tratando de aumentar la eficiencia de irrigación a través de un manejo en vez de cambiar a un nuevo sistema.

Con el riego por goteo se puede obtener un mejor manejo del agua debido al cuidadoso diseño del mismo. Los agricultores han encontrado que la programación del riego es una buena alternativa económica.

En conclusión el riego por goteo ha tomado su lugar y ha sido aceptado como una importante tecnología de riego. Puede ser usado con confianza en aquellas condiciones físicas y económicas donde mejor se adapte. Estoy seguro que el goteo no vá a ser el único método de irrigación usado en los Estados Unidos en el futuro previsible.

LA FILOSOFIA DEL DESARROLLO REGIONAL

Miguel Ángel Hernández Ocanto

Aún en nuestros días, se presentan discusiones acerca de si lo que se conoce como ciencia regional es efectivamente una ciencia.

Dejando de un lado esta polémica, me interesa discutir los avances teóricos y las aplicaciones que en desarrollo regional se han hecho, con el objeto de entrar posteriormente a la determinación de lo que considero debe ser la filosofía actual y de los próximos años del desarrollo regional en Venezuela.

I. El Espacio y los Polos

El Desarrollo Regional está unido al concepto de espacio, campo en el cual los autores europeos fueron los que se ocuparon con mayor suceso, especialmente los alemanes y escandinavos. Von Thünen, Weber, Lösch y Predohl, fueron complementados en las últimas décadas con los importantes trabajos del francés Fracoise Perroux y el español José Ramón Lasuen.

La mayor preocupación de los primeros fue el análisis de las fuerzas económicas sobre el espacio geográ-

fico. Quizá el aporte más importante de Perroux se refiera a la reacción contra el espacio tridimensional geográfico y su sustitución por el espacio topológico, que le abre perspectivas insospechadas al desarrollo regional.

Son conocidos los aportes de Perroux y sus discípulos franceses, belgas y latinoamericanos, tanto en el aspecto teórico como en sus aplicaciones prácticas, que dominaron la década del sesenta y gran parte de la década de los setenta. Una apreciación general, permite indicar que las expectativas enormes que los polos de crecimiento de Perroux habían despertado en América Latina, se vieron frustradas en gran parte en la práctica. A comienzos de la década de los setenta el gobierno de Allende en Chile, fue posiblemente el primero que reaccionó en contra de las enseñanzas de Perroux. Considero conveniente referirme a las objeciones principales de la escuela francesa, campo en el cual posiblemente sea José Ramón Lasuen el máximo crítico.

Ya en 1969, Lasuen escribió respecto al concepto de "Pole de Croissance" (Polo de Crecimiento): "Como una idea de moda, puede sufrir la misma suerte que la mayoría de ellas: mueren sin ser destruidas, pero deslucidas por su ineficiencia". Dicho esto en forma categórica, ya puede agregar que si bien Perroux ha sido fecundo en ideas, es muy poco lo que él o sus discípulos las han desarrolla-

do efectivamente. La evidente confusión a que la escuela de Perroux ha conducido, ha llevado a una política tradicional de polos de crecimiento errónea, porque un análisis más profundo de los conceptos -indica Lasuen- conduce a un nuevo conjunto de políticas que competirán con ventajas con la versión burda de la planificación espacial que ahora se encuentra de moda.

El argumento fundamental de Perroux, es el mismo de Schumpeter en lo referente a que, el detonante que saca de una situación estacionaria hacia una de desarrollo a una economía, es la innovación, pero mientras Schumpeter se refiere a un país como un todo, Perroux introduce el espacio y plantea un problema sectorial, temporal y geográfico, con el concepto abstracto de espacio topológico.

Lasuen indica que la riqueza de posibilidades que se abrían en el desarrollo regional con la teoría se frustró en gran medida, como consecuencia del deseo de hacer uso inmediato del concepto de polo de crecimiento en la planificación. Es así como la definición de industria motriz es imprecisa, la de complejo industrial es incompleta, su explicación de las interrelaciones entre la industria motriz y el complejo industrial es solo parcial y su explicación sobre las relaciones entre el crecimiento del polo y el de la nación es, cuando menos, errónea en parte.

Otros autores objetaron los argumentos de Perroux. Kuklinski indica que, en realidad, esta teoría ha sido raramente aplicada y Berry se pregunta si se trata verdaderamente de una teoría.

Milton Santos expresa que en los países subdesarrollados y claramente en América Latina, hay dos circuitos económicos, responsables no solamente del proceso económico, sino igualmente del proceso de organización del espacio. Esos dos circuitos son: el superior o moderno y el circuito inferior. Agrega que el circuito superior es resultado directo de la modernización tecnológica y sus elementos más representativos son hoy en día los monopolios, razón por la cual, lo esencial de sus relaciones se efectúa fuera de la ciudad y la región que lo contiene y tiene por marco el país o el extranjero. El circuito inferior formado por actividades de pequeña dimensión que interesan sobre todo a las poblaciones pobres, está muy bien arraigado con relaciones económicas a su región. Santos concluye que, como la teoría de los polos de crecimiento se preocupa solo del circuito superior que por la vía de la modernización con la instalación de industrias motrices, sería la única vía capaz de provocar el crecimiento, mientras que el circuito inferior o tradicional es considerado como un freno al crecimiento económico y no como lo que es, o sea, resultado de la modernización tecnológica, aquí se plantean una

serie de equívocos. Los más importantes son que las industrias modernas no son necesariamente complementarias, que es posible que no tengan efectos secundarios importantes ni efectos multiplicadores apreciables y aún que, siendo las empresas grandes, pueden no ser dinámicas, por lo cual se debería hacer el crecimiento sin polos de crecimiento.

II. Las Deseconomías

Otro aspecto importante del conocimiento en el campo del desarrollo regional tiene que ver con el crecimiento acumulativo de G. Myrdal y el complemento de las economías y deseconomías externas de T. Scitovsky.

La teoría explicaba que, el acelerado crecimiento de los países ahora avanzados, producía en las regiones líderes deseconomías externas y de aglomeración, que hacía redituable volcar las nuevas inversiones en otras regiones que comenzaban así a crecer y alcanzar a las regiones de punta. Rendimientos decrecientes en las regiones avanzadas producían cambios espaciales ante rendimientos crecientes de las regiones rezagadas. La distancia económica entre regiones tendía a disminuir, con el ejemplo clásico en los Estados Unidos en las últimas décadas, entre la región del Mississippi (deprimida) por un lado, y Nueva York y California (desarrolladas) por otro lado.

La aplicación de esta teoría en América Latina explicaba que el crecimiento desproporcionado de las capitales y regiones metropolitanas como Sao Paulo, Caracas o el Valle de México, era consecuencia de que las deseconomías externas y de aglomeración no incidían con la fuerza suficiente como para superar las economías.

En los momentos actuales, hemos llegado a una situación en donde las áreas de punta están hipertrofiadas frente a la atrofia del resto del país y Montevideo contiene la mitad de la población del país, el Gran Buenos Aires, el Area Metropolitana de Caracas, el Valle de México, etc., contienen poblaciones millonarias con notables incrementos anuales y sin atisbos de cambios importantes, que indican la insuficiencia de la teoría de las deseconomías para aprehender esta realidad.

La explicación de este hecho tiene relación con el modelo de crecimiento de América Latina (que difiere del modelo de los países avanzados) que permite que las economías externas y de aglomeración sean aprovechadas fundamentalmente por los sectores empresarios y familias de los centros urbanos respectivos, mientras que las deseconomías son absorbidas principalmente por el Estado, por las exigencias de infraestructuras cada vez más costosas sin elevación equitativa de las tarifas, y la población de todo el país, vía de la elevación de los precios de los bienes

Y servicios producidos -incluso con ineficiencia económica por deficiente localización entre otras razones- por las grandes ciudades. En un reciente seminario llevado a cabo en París, se nos anunció por parte de los alcaldes y gobernadores de algunas ciudades latinoamericanas, que a comienzos del año 2.000, sus ciudades superarían los 30 millones de habitantes.....y mientras tanto en los países desarrollados las deseconomías comienzan a aparecer con 2 o 3 millones de habitantes.

III. Desarrollo Equilibrado o Desequilibrado

El otro campo de preocupación constante del desarrollo regional, es el del crecimiento equilibrado versus crecimiento desequilibrado, a nivel de regiones y/o sectores de la economía. A. Hirschman, P.N. Rosenstein Rodan, R. Nurkse y A. Lewis, son los autores más representativos de esta disputa. No me detendré en este aspecto porque lo importante es definir estrategias de distribución eficiente de la población y de aprovechamiento de los recursos naturales, antes que un crecimiento balanceado a nivel regional, entre otras razones, porque todas las experiencias de desarrollo exitoso han llevado consigo un crecimiento desigual de las regiones y porque la equidad social que es lo que interesa, también puede lograrse con una inteligente política de movimientos migratorios internos, como los is-

raelitas, soviéticos e ingleses lo hicieron con tanto éxito.

IV. El Conocimiento y la Acción para el Desarrollo Regional.

Una primera conclusión que llama a la reflexión en los aspectos considerados previamente, es que el conocimiento y la acción, la doctrina y la práctica, las ideas y los hechos, o como quiera llamársele, nos dieron resultados poco satisfactorios. Probablemente, este sea el costo que debe pagarse por la dependencia intelectual, asunto sobre el cual muy poco se discute y que es la dependencia más peligrosa porque elimina el elemento de originalidad para encontrar soluciones específicas a problemas particulares.

A propósito, mientras el mundo desarrollado analiza los nuevos pasos que dará para un nuevo orden internacional, consecuencia de nuevos valores que surgen con exigencias de transformaciones sociales, económicas, culturales e institucionales, que ya dieron como resultado, el redespliegue de las industrias de menor complejidad tecnológica hacia los países del Tercer Mundo, que les permite a ellos aumentar la productividad y el ingreso real, nosotros continuamos discutiendo sobre la teoría de la dependencia, cuando deberíamos estar elaborando la teoría de la independencia. Hacia ese camino, espero que conduzcan las apreciaciones que siguen.

El desarrollo económico está conectado directamente con la transformación social y puede ser considerado, inclusive, como parte de ésta. Por la acción de la técnica instrumental, la sociedad se presenta como una unidad que no solamente es el campo de difusión de las olas provocadas por las técnicas de producción, de difusión y de adopción, sino el sujeto consciente de las mismas. De aquí se puede identificar un movimiento de socialización que se inserta en los procesos evolutivos del mundo.

Dentro de las características típicas de la socialización, se necesita identificar, a través de las relaciones sociales, la tendencia hacia una institucionalización en formas organizativas. De aquí entonces, las instituciones son el elemento fundamental de la estructura social, porque fijan las distintas actividades en forma estructural, como órganos y medios idóneos para lograr determinados fines. Tienen la función de satisfacer a las necesidades del hombre en su vida social, adaptándose a su manera de vivir y de reaccionar: de hecho, ellas simplifican el comportamiento de los individuos, ofreciendo formas ya establecidas de relaciones y de roles sociales y actuando como factor de coordinación y de estabilidad.

La naturaleza de las instituciones y la complejidad de un proceso de institucionalización, hacen necesario distinguir el cambio de la transformación. Mientras

que el cambio social ocurre en todas partes en mayor o menor medida y puede describirse en términos de distintos índices, la transformación implica el desarrollo de una estructura institucional capaz de absorber los cambios continuos y de enfrentarse a ellos, disponiendo de mecanismos reguladores de inevitables conflictos.

Sin embargo, lo expuesto, con un alto grado de conexión lógica, es una simplificación de los hechos reales. El cambio social escapa al control del hombre: la humanidad camina hacia la unidad y exige la solidaridad. Pero, en esta conciencia común en formación hay una fractura: la herencia del pasado no es suficiente y el porvenir se nos anticipa y debemos perseguirlo. No logramos un método adecuado para coger nuestra vida asociada en sus profundas exigencias. Esta sensación se expresa con la consabida frase de que nuestras instituciones están atrasadas.

Si los elementos fundamentales de las instituciones son las relaciones y los roles sociales; si las instituciones son los medios de coordinación de esos roles y elementos de estabilidad en las relaciones, son los medios más adecuados al fin, adaptados a las exigencias, aprobados por la mayoría de los participantes al grupo para actuar de manera normal, las instituciones son, entonces, portadoras de valores, porque de uniformidades repetidas

nace el código de comportamiento participado por todos los ciudadanos.

No obstante, lo que observamos en un período de crisis de valores como el actual, es que las instituciones no tienen un carácter, un sentido y un valor para toda la sociedad y no se presentan como estables a largo plazo. No es correcto referirse a las instituciones como a un hecho universalmente aceptado por todos los grupos de la sociedad, porque pueden no servir, o servir a los intereses de grupos particulares. Y por otra parte, sigue vigente la exigencia de la transformación.

El momento crítico parece consistir en que los conceptos dominantes no son más adecuados a las exigencias del comportamiento, mientras que se presenten nuevos roles, modelos y valores, aptos para eliminar el desajuste conceptual. Así, son las mismas deficiencias de la estructura social, las que generan la estructura institucional alternativa.

El origen de una estructura social alternativa se puede atribuir entonces, a la formación de comportamientos desviantes. La desviación, así como el conformismo, son relativos a la persona, a los roles que cumple y a la cultura. Cuando las instituciones no son más capaces de sustentar las conductas según sus fines propios, cuando las

necesidades del hombre, o aquellas que socialmente son percibidas, no son satisfechas, el no conformismo o las desviaciones, representan las tentativas históricamente experimentadas para satisfacer las necesidades descubiertas.

El comportamiento desviante puede así ser considerado como la disociación entre las aspiraciones culturales aceptadas y las vías socialmente estructuradas para realizarlas. Cuando las nuevas actitudes y los nuevos comportamientos están suficientemente difundidos, la institución alternativa emerge como forma de integración de los roles, en contraste con las viejas que se deterioran sin desaparecer, actuando como residuos.

En un proceso de transición como el actual de Venezuela y el mundo, se acentúa este tipo de dinámica de las instituciones, que expresan comportamientos todavía no estructurados, pero destinados a lo largo del tiempo a dar una nueva configuración al sistema. Este proceso es tanto más acelerado cuanto más deliberado es su movimiento y su dirección consciente, es decir, cuando es expresado por estructuras políticas. Es este el motivo por el cual una verdadera relación entre desarrollo económico y transformaciones socio-institucionales, la pueden asegurar solamente las sociedades que se orientan con una clara ideología y praxis política.

En el poco tiempo que me resta, trataré de demostrar, que el gobierno actual tiene esa clara ideología y praxis política.

V. La Democracia Participativa

Uno de los requerimientos de transformación esencial para el desarrollo social postulado por el Gobierno, en donde la columna vertebral del proceso lo constituye la regionalización como política central, es el paso de la democracia representativa a la democracia participativa.

Como Luis Herrera lo expresa, "indiscutiblemente, los sistemas políticos no se sustituyen enteramente unos a otros. Cuando se opera el cambio por vía democrática, hay ya siempre inserciones de los conceptos, sistemas y puntos de vista más adelantados, dentro del propio sistema que se intenta sustituir. Ahora bien, debemos tratar de ver, no ya como en una etapa práctica se insertan determinados aspectos participativos dentro de la democracia de representación, sino en última instancia, cómo la democracia participativa debe sustituir a la representativa y constituirse en la participación misma... Una de las tragedias actuales en la democracia occidental, es que sus estructuras, esos instrumentos jurídico-políticos, no tienen ya la posibilidad de ser eficaces, enfrentadas

a los graves problemas que plantea la evolución del Siglo XX".

A lo largo de este foro, tendremos oportunidad de discutir algunas de las realizaciones del Presidente Herrera para la participación, entre las cuales destacan, en el orden institucional, el Decreto sobre Regionalización y Participación de la Comunidad, y en el orden político, las Convenciones Regionales de Gobernadores, que funcionan como verdaderos Cabildos abiertos.

VI. El Desarrollo Regional Armónico

El otro postulado básico del desarrollo actual, es el de la armonía a nivel de regiones. Con ese objetivo es necesario tener en cuenta los costos y beneficios económicos y sociales en el corto, mediano y largo plazo y para el gobierno es claro que a veces se requiere pagar un costo en el corto plazo para obtener un beneficio en el mediano o largo plazo, o bien, se puede economizar un costo ahora con la pérdida de un beneficio que compensaría el costo con creces en el mediano o largo plazo. Un caso numérico permite entender la situación.

R E G I O N E S

	A	B	C
1. Relación capital producto	2,0	2,5	3,5

	A	B	C
2. Producción total (Rs)	100.000.000	8.000.000	6.000.000
3. Población (Habit.)	90.000	12.000	14.000
4. Ingreso por habit. 2/3 (Rs)	1.111	666	428

La relación capital producto mide las necesidades de unidades de capital para producir una unidad de bienes y/o servicios. En la región A se necesita la menor cantidad de capital y la C requiere mayor volumen, dentro de las 3 regiones existentes. Pueden influir para esa diferencia distintas razones como inversiones previas mayores, economías externas y de aglomeración, capacidad empresarial mayor, etc. en A, con respecto a las otras regiones.

Si solamente se tiene en cuenta el corto plazo, ante la posibilidad de realizarse una nueva inversión en el país, la misma se aplicará en la región desarrollada A, en donde se conseguirá un producto mayor que en la subdesarrollada C, con la característica de que la región A se alejará cada vez más de las otras regiones produciéndose un crecimiento mayor del país, al costo de un proceso cada vez más inarmónico y sin justicia social. El resultado producirá a la larga una hipertrofia de la región A y una atrofia en las otras regiones que propiciará un movimiento migratorio de población y

de capitales financieros desde las regiones deprimidas hacia las regiones en crecimiento, con un doble efecto negativo: las regiones deprimidas serán cada vez más pobres en términos relativos y la región en crecimiento llegará a una situación en que se mostrará incapaz de recibir los movimientos migratorios de población, produciendo la marginalidad en incremento y además, el proceso productivo se saturará ante la poca capacidad de demanda del resto del país estancado.

Si se tiene en consideración la armonía en el crecimiento, la justicia distributiva y la elevación de los niveles de bienestar nacional, lo que en síntesis significa la regionalización del desarrollo, la estrategia que debe seguirse es justamente lo contrario: invertir en las regiones y sectores atrasados a un costo de corto plazo mayor, con la seguridad de que en el mediano y largo plazo los beneficios de un país con crecimiento más equilibrado compensará con creces ese costo y la economía del país se hará más fuerte con la armonía. De esta manera se evitará la concentración en una región determinada y el abandono del resto del país.

La marginalidad creciente en la región capital hipertrofiada y el círculo vicioso de la pobreza en el resto del país atrofiado, es el precio que debe pagarse por el

crecimiento desequilibrado, en aras de obtener un beneficio efímero o en pagar menores costos en el corto plazo, con olvido de que el desarrollo y la transformación para lograr - mayores niveles de bienestar y de justicia social, son procesos de largos y mediano plazos.

En este sentido hay una serie de aspectos complementarios que espero desarrollar en el momento de las discusiones.

Para nosotros, este IV Seminario Latinoamericano y Nacional de Riego por Goteo, tiene especial importancia para - el Desarrollo Regional Venezolano. En un documento que denominamos " La Decisión Política en la Estrategia del Desarrollo Regional", y que ha servido de base para la Dirección General Sectorial de Desarrollo Regional del Ministerio de Relaciones Interiores, expusimos lo siguiente:

2.2.2. El estancamiento del Sector Agropecuario:

En la medida que se produce el crecimiento heterogéneo, el sector más rezagado comienza a expulsar población por su estancamiento.

La participación de la población rural decrece violentamente por los movimientos migratorios internos del campo a la ciudad-proceso que se convierte en irreversible con el mantenimiento de las condiciones estructurales existentes- y la explosión demográfica se refleja en las ciudades.

Las experiencias del Desarrollo de los países ahora avanzados, enseñan que la industrialización siempre ha estado precedida de un cambio drástico en el sector agropecuario que, al elevar su productividad, - produce un excedente económico que se invierte en las ciudades y en la industria, por una parte, y expulsa población por crecimiento, por otra parte. Venezuela actúa en un sentido exactamente inverso" .

Es por ello que nuestra actual Política de Desarrollo Agrícola bajo riego, indefectiblemente debe estar sustentada en principios filosóficos, políticos, técnicos y sociales muy sólidos que justifiquen las enormes inversiones que exige para su ejecución y funcionamiento, en base a una plataforma científica y experimental que haga posible la introducción de mejoras en el campo agrícola, para la conservación de logros, cada vez mayores en la producción y productividad, a - objeto de lograr estratos económicos y sociales cónsonos con el esfuerzo tanto del productor como de las inversiones realizadas por el Estado, con el propósito sagrado de producir los alimentos que requiere nuestra creciente nación y así satisfacen su primaria necesidad.

La tecnología en su más amplia concepción, es el agente universal que ha permitido los avances o progresos del mundo moderno, especialmente para la producción de alimentos. Cifras actualizadas a nivel mundial acusan déficits alarmantes

Y preocupantes de desabastecimiento alimenticio a tal extremo de provocar, en un gran número de naciones, desequilibrios filosóficos y sociales entre sus habitantes, logrando en algunos casos, fracasos en sus políticas administrativas y deterioro en sus soberanías.

El campo tecnológico del riego es sumamente amplio y complejo, requiriéndose de científicos, técnicos, investigadores, etc., en cada una de las áreas que lo integran: Hidráulica, Agronomía, Economía, Sociología, Climatología, etc., que permitan el conocimiento y manejo de la interrelación agro-suelo-planta-hombre, con el fin de hacer de las obras de riego verdaderos polos de desarrollo y no una actividad frustrante y de despilfarro de recursos humanos y económicos para un país.

No se pueden esperar resultados positivos cuando la formulación de los planes, proyectos o programas de explotación agrícola bajo riego, no responda a una verdadera necesidad sectorial o regional en base a una estrategia a corto, mediano y largo plazo. Es por ello, que lo más importante en todo proceso de desarrollo es la decisión política en sus diferentes niveles, en la organización administrativa y en la calidad profesional, técnica y del productor disponible.

2.8.29

Por lo antes expuesto, se pone en evidencia que el desarrollo agrícola de un país, y en especial bajo riego, no está en función del monto de las inversiones destinadas para la construcción de obras de infraestructura física, como algunos pueden pensar, sino más bien en definir políticas y estrategias que opte un gobierno para su desarrollo regional y nacional.

Nos encontramos en un área política administrativa, donde el recurso agua es, en una vasta zona, muy escasa, con suelos y clima adecuados para una explotación intensiva y casi permanente. He aquí la gran importancia del evento que actualmente se desarrolla en esta capital del Estado Lara, y, señores embajadores de la tecnología de riego, tengan la seguridad que las liberaciones y conclusiones que salgan de éste IV Seminario Latinoamericano y II Nacional de Riego por Goteo, será de trascendental importancia para el desarrollo agrícola de los pueblos, no sólo de habla hispana sino del mundo. Ustedes están luchando por erradicar o minimizar el azote que amenaza a las 3/4 partes de los habitantes de ésta urbe: "La Hambruna".

En nombre de la humanidad y del gobierno que tengo honra en representar, muchas gracias y que su estadía en éste país, Venezuela, sea de su completo agrado, en la seguridad de que las conclusiones obtenidas en éste seminario serán de gran provecho para el desarrollo de los países hermanos de latinoamérica y del mundo en general.

3. PONENCIAS

"A N T E - P R O Y E C T O"

"TUBOS DE POLIETILENO DE MEDIANA Y BAJA DENSIDAD, REQUISITOS"

1.- NORMAS COVENIN A CONSULTAR:

ANTE-PROYECTO 1-B, COVENIN XVI-001: "TUBOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD REQUISITOS"

2.- OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

- 2.1. La presente norma establece los requisitos físicos, dimensionales y mecánicos que deben cumplir los tubos de Polietileno de mediana y baja densidad.
- 2.2. Los tubos de la presente norma pueden ser utilizados para la conducción de fluidos bajo presión (líquido, gas o vapor), a temperatura de hasta 60°C.
- 2.3. La presente norma sirve de guía tanto al fabricante como al usuario, en cuanto al diseño de tuberías de Polietileno para sistemas de riego.

2.- DEFINICIONES Y SIMBOLOS

3.1 Polietileno de baja densidad (P.E.B.D.)

Es el Polietileno obtenido por procedimiento de fabricación llamados de alta presión. Sin embargo, según su densidad y aplicación se deben diferenciar dos tipos de Polietileno. El de baja densidad propiamente dicho, cuya densidad está comprendida entre $0,910 \text{ gr/cm}^3$ y $0,925 \text{ gr/cm}^3$ y el de mediana densidad, cuya densidad está comprendida entre $0,926 \text{ gr/cm}^3$ y $0,940 \text{ gr/cm}^3$. Siendo este último el que interesa a esta norma; puesto que, es el destinado a la fabricación de tuberías.

3.2. Diámetro Nominal (DN):

Es el diámetro declarado por el fabricante, y se expresa en mm.

3.3 Diámetro exterior cualquiera (D):

Es el valor del diámetro externo del tubo, medido en una sección cualquiera de acuerdo a la Norma COVENIN 519.

3.4. Diámetro exterior medio (DM):

Es el cociente resultante de dividir la circunferencia del tubo entre π ($\pi = 3,1416$), y se expresa en mm.

3.5. Presión nominal (PN):

Es la presión máxima a la que deben trabajar los tubos en servicio continuo a 20°C, se expresa en Bar (1 Bar = 1,02 Kg/cm²).

3.6. Espesor teórico (Eo):

Es el espesor que resulta de aplicar la fórmula que se da a continuación, en función de la presión nominal y del diámetro del tubo:

$$E_o = \frac{PN \times DN}{2\sigma + PN}$$

Donde:

Eo = Espesor teórico de pared, expresado en cm.

PN = Presión nominal, expresada en Kg/cm²

DN = Diámetro nominal, expresado en cm.

σ = Solicitación máxima de trabajo a 20°C. Para el Polietileno de mediana y baja densidad, = 25 Bar (≈ 25 Kg/cm²)

3.7. Espesor de pared (E):

Es el espesor mínimo de pared que debe tener un tubo de determinado diámetro, para que pueda soportar la presión nominal requerida, en servicio continuo a 20°C. Corresponde al espesor teórico (Eo) redondeado a la décima de mm.

(0,1) superior más cercano.

4.- CLASIFICACION

4.1. Los tubos de Polietileno objeto de la presente norma, se clasifican según su presión nominal en 5 series: 2,5 Bar; 3,2 Bar; 4 Bar; 6 Bar y 10 Bar (en -
.../..

efecto, es indispensable señalar la unidad después de cada cifra para no tener una interpretación errónea), dependiendo del diámetro nominal y del espesor de pared a 20°C para los cuales han sido fabricados (Ver tabla 1).

NOTA 1: En la práctica los tubos pueden ser sometidos a temperaturas entre 20°C y 60°C, en cuyo caso la presión de trabajo será menor a medida que la temperatura aumenta, como se indica en la tabla 2.

Algunas características pueden variar con el tiempo y según las sollicitaciones sufridas por la materia. Esta evolución, inherente a la materia termoplástica del tubo, fue tomada en cuenta en el establecimiento de esas especificaciones. Las características especificadas en esta norma sólo se aplican a tubos nuevos; es decir, antes de la puesta en servicio, y en stock según las prescripciones del fabricante.

4.2. Las diferencias admisibles para diámetros exteriores, han sido calculadas por la ecuación: $0,015 d + 0,2 \text{ mm.}$, d en mm.; valores redondeados a 0,1 mm. (Ver tabla 3).

4.3. La diferencia es admisible para espesores de pared, han sido calculadas por la ecuación: $0,1 x e + 0,2 \text{ mm.}$, e en mm.; valores redondeados a 0,1 mm. (Ver tabla 4).

4.4. El peso teórico de los tubos (Kg/mts.) (Ver tabla 1) ha sido calculado a partir de la siguiente expresión:

$$P = [DN - (E \text{ mín.} + 1/2 \text{ tol.})] \cdot (E \text{ mín.} + 1/2 \text{ tol.}) \times \pi \times \rho$$

Donde:

Tol. = Tolerancia del espesor, expresada en cm.

= Peso de los tubos, expresado en Kg/xm.

DN= Diámetro nominal expresado en cm.

E mfn.= Espesor mínimo de pared, expresado en cm.

ρ = Densidad promedio = 0,930 gr/cm³ = 0,93 x 10⁻³ Kg/cm³

π = 3,1416

5.- MATERIALES Y FABRICACION

- 5.1. Para el caso de sistemas de riego, pueden utilizarse tuberías de P.E.A.D., a partir del diámetro de 40 mm. (inclusive) en adelante. Puesto que los espesores son menores en este material para la misma presión nominal (Consultar Norma COVENIN ante-proyecto 1B COVENIN XVI-001).
- 5.2. El Polietileno empleado en la fabricación de los tubos de mediana y baja densidad, deberá ser puro, de composición homogénea y constante, deberá contener negro de humo dispersado muy fino y eventualmente ingredientes estabilizantes y antioxidantes, y no deberá contener en su formulación, compuestos que puedan afectar las propiedades físico-químicas y mecánicas de las tuberías.
- 5.3. En la composición de los tubos de Polietileno, se permitirá el reciclaje del material proveniente de la fabricación de los mismos, siempre y cuando los tubos cumplan con los requisitos de la presente norma.
- 5.4. Características de identificación de la materia prima (Ver cuadro 1).

CUADRO 1

Características	Especificación	Método de ensayo
Densidad (ρ) de referencia a 20°C en gr/cm ³	$0,926 \leq \rho \leq 0,940$	COVENIN 522
Indice de fluidez (IF) en gr/10 min.	IF ≤ 2 temperatura del cilindro= 190 \pm 0,2°C peso del pistón= 2160 \pm 108 gr. tiempo de corte= 120 ó 180 seg.	COVENIN 1152 Condición "E"
Contenido de negro de humo	2,5 % \pm 0,5 %	COVENIN XVI-002
Grado de dispersión del negro de humo	Satisfactorio	COVENIN XVI-002

6.- ESPECIFICACIONES

6.1. Aspecto y color:

Los tubos de Polietileno deberán ser lisos y exentos de todo vestigio de materia o defecto visible de fabricación, susceptible de reducir las propiedades mecánicas de los tubos, o de comprometer la puesta en marcha y el buen funcionamiento de la tubería.

.../...

Los tubos de Polietileno de mediana y baja densidad, objeto de la presente norma, deberán ser negro mate para no favorecer por la luz la formación de algas y el crecimiento de bacterias.

6.2. Características dimensionales:

6.2.1. Longitud de los tubos y diámetros de los rollos:

La longitud de los tubos y diámetros de los rollos es fijada por el fabricante, o puede ser objeto de un acuerdo previo. La longitud recomendada es en rollos de 100 metros.

En el caso de los rollos, el diámetro del carrete deberá guardar relación con el diámetro del tubo, de manera de evitar deformaciones y fisuras. (Ver cuadro 2, recomendación).

CUADRO 2

Diámetros exteriores nominales de los tubos (mm.)	Ø interno del rollo (mts.)	Ø externo del rollo (mts.)
12	0,45	0,60
16	0,45	0,60
20	0,70	0,90
25	0,80	1,00
32	0,90	1,20
40	1,00	1,50
50	1,20	1,80
63	1,40	2,00
75 a 160	1,80	2,80

6.3. Características físicas (Ver cuadro 3).

CUADRO 3

Características	Especificaciones	método de ensayo
Estabilidad dimensional	inferior a 3% El aspecto inicial del tubo debe ser conservado	COVENIN 521 Medio líquido: agua a $95 \pm 3^\circ\text{C}$
Ensayos de tracción	a) Resistencia a la tracción $\tau_r \geq 100 \text{ Kg/cm}^2$ b) Alargamiento en el punto de ruptura: $\epsilon_r \geq 350\%$	COVENIN 527
Presión hidrostática	Los tubos no deben romperse cuando se sometan a las condiciones de ensayo indicadas en la tabla 5.	COVENIN 526
Ensayo de craqueo (Stress Cracking)	Este ensayo se efectúa exclusivamente en tuberías para goteo de ϕ ext. entre 12 y 20 mm.	VER ANEXO A: "Sistemas para descubrir rajaduras en los tubos de Polietileno"

Tabla 5: Condiciones de ensayo para las pruebas de resistencia a la presión hidrostática.

Tiempo (hr.)	Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Solicitación tangencial (σ) Bar
1	20	70
1	70	32
100	70	25

NOTA 2:

La presión de ensayo se calcula a partir de la siguiente expresión:

.../...

$$p = \frac{2 \times E \text{ m\u00ednimo} \times \sigma}{DM - E, \text{m\u00edn.}}$$

Donde:

- P= Presi\u00f3n de ensayo, expresada en Kg/cm²
 E m\u00edn= Espesor m\u00ednimo de la probeta, expresado en cm.
 DM= Di\u00e1metro medio de la probeta, expresado en cm.
 σ = Solicitudi\u00f3n tangencial, expresada en Kg/cm²

NOTA 3:

En todo caso, la presi\u00f3n de ensayo no puede ser menor de:

- a) 2,8 PN, a 20\u00b0C, durante una hora.
- b) 1,2 PN, a 70\u00b0C, durante 100 horas.

6.4. Caracter\u00edsticas organolepticas y toxicol\u00f3gicas:

Los tubos de Polietileno de mediana y baja densidad destinados a la conducci\u00f3n de l\u00edquidos para uso humano, no deber\u00e1n contener productos t\u00f3xicos que puedan contaminar y alterar las caracter\u00edsticas f\u00edsico-qu\u00edmicas y bacteriol\u00f3gicas del l\u00edquido. No deben dar a los l\u00edquidos alimenticios ning\u00fan sabor o coloraci\u00f3n.

7.- MARCACION Y TRANSPORTE

7.1. Marcaci\u00f3n:

7.1.1. Los tubos ser\u00e1n marcados indeleblemente a intervalos preferiblemente no menores de un metro y en cualquier caso no mayores de tres metros.

7.1.2. El marcado deber\u00e1 indicar claramente:

7.1.2.1. La identificaci\u00f3n del fabricante.

.../...

- 7.1.2.2. Las siglas P.E.B.D. (o P.E.A.D., cuando se trate de tuberías de riego de \emptyset externo \geq 40 mm.)
- 7.1.2.3. El diámetro nominal en mm.
- 7.1.2.4. La identificación "RIEGO" (cuando se trate de tuberías para este fin)
- 7.1.2.5. La presión nominal en Bar (la presión en PSI).
- 7.1.2.6. La leyenda "HECHO EN VENEZUELA"
- 7.1.2.7. El lote de fabricación correspondiente.

NOTA 4:

Los tubos destinados a sistemas de riego deberán ser marcados con la identificación "RIEGO", aunque en las tuberías de diámetros entre 12 y 16 mm., en lugar de la palabra "RIEGO", puede rotularse la palabra "GOTEO" y toda la marcación deberá realizarse en color verde.

NOTA 5:

En el marcado deben aparecer las unidades en que se expresan la presión nominal y el diámetro nominal.

7.2. Transporte:

7.2.1. Los tubos podrán despacharse en:

7.2.1.1. En barras de longitud comercial corriente con una tolerancia de + 1%, - 0%

7.2.1.2. En rollos (Ver cuadro 2)

8. INSPECCION Y RECEPCION

8.1. Introducción:

.../...

- 8.1.1. Este capítulo está redactado con el fin de ofrecer una guía para la aceptación o rechazo de "Lotes aislados" de productos a comercializar, a utilizarse bajo acuerdo previo entre las partes. Por lo tanto, los criterios aquí expuestos no se refieren al control de calidad interno de planta, y deberán ser discutidos cada vez que se desee implementar este capítulo.
- 8.1.2. Se entenderá por "Lote aislado", cualquier conjunto de tubos o rollos que se desee controlar.
- 8.1.3. Siempre que sea posible, el lote a inspeccionar deberá ser ordenado en lotes o sub-lotes identificables, constituidos por unidades de un solo tipo, clase, medida, composición, fabricados bajo las mismas condiciones y durante el mismo período de tiempo.
- 8.2. Planos de muestreo:
- 8.2.1. El sistema de inspección que se indica a continuación se basa en "Los Planes de Muestreo simple para inspección normal", que aparece en la Norma COVENIN 598.
- 8.2.2. Los "Lotes aislados", serán sometidos a un sistema de inspección por "Atributos" que consiste en tomar al azar un determinado número de tubos o rollos como "muestras" y en base a los resultados de los ensayos, clasificarlos como "defectuosos" o "no defectuosos". Luego se compara el número de "tubos defectuosos" con el "número de aceptación" que aparece en la tabla 5 y 6, dependiendo del tipo de defecto(s) que presente el tubo o el rollo.
- 8.2.3. Un tubo o rollo se considerará "defectuoso", si no cumple con uno o más de los

requisitos contemplados en los capítulos 4 y 6 de la presente norma, y se clasificarán de acuerdo a los criterios expuestos a continuación:

8.2.3.1 Defectos mayores: Son aquellos tubos o rollos que no cumplen con uno o más de los requisitos que se indican a continuación:

- Requisito dimensionales
- Resistencia a la presión hidrostática (Ver nota 5)
- Resistencia a la tracción
- Resistencia al craqueo (Para tuberías destinadas a goteo)

NOTA 6:

El criterio de inspección y recepción, en lo que respecta al requisito de resistencia a la presión hidrostática durante 100 horas (poco más de 4 días), se fijará por mutuo acuerdo entre las partes interesadas.

Para este tipo de defectuosos, se aplicará el Nivel de Inspección Especial S-3 y un Nivel de Calidad Aceptable -NCA- (AQL) de 6,5%, a los cuales corresponde el siguiente plan de muestreo:

Tabla 5: Plan de muestreo para defectuosos mayores.

Tamaño del lote rollos o tubos	Tamaño de la muestra rollos o tubos	N° de aceptación AC_1	N° de rechazo Re_1
1 a 50	2	0	1
51 a 500	8	1	2
501 ó más	13	2	3

8.2.3.2. Defectos menores: Son aquellos que no cumplen con uno o más de los requisitos que se indican a continuación:

.../...

-Estabilidad dimensional

-Aspecto y color

Para este tipo de defectuoso se aplicará el Nivel de Inspección Especial S-3 y un Nivel de Calidad Aceptable -NCA- (AQL) de 10% a los cuales corresponde el siguiente plan de muestreo:

TABLA 6: Plan de muestreo para defectos menores

Tamaño del lote rollos o tubos	Tamaño de la muestra rollos o tubos	N° de aceptación AC_2	N° de rechazo Re_2
1 a 150	5	1	2
151 a 500	8	2	3
501 o más	13	3	4

- 8.3. Procedimiento para la inspección:
- 8.3.1. Se determinará el tamaño de la muestra, dependiendo del tamaño del lote a inspeccionar. En vista de que se tienen 2 planes de muestreo diferente, el número de secciones de tubos cortados al azar deberá ser igual al número que corresponde al mayor tamaño de la muestra.
- 8.3.2. Se inspecciona la muestra siguiendo los criterios expuestos en los puntos: 8.2.3.1. y 8.2.3.2. de la presente norma.
- 8.3.3. El lote será aceptado si se cumplen las siguientes dos condiciones:
- 8.3.3.1. El número de muestras clasificadas como "defectuosos mayores" es menor o igual al número de aceptación AC_1 (Ver tabla 5).
- 8.3.3.2. El número de muestras clasificadas como "defectuosos menores" es menor o igual al número de aceptación AC_2 (Ver tabla 6).
- 8.3.4. El lote será rechazado si no se cumplen cualquiera de las condiciones antes señaladas.

B I B L I O G R A F I A

- UNI 6462-69 "Tubi di polietilene a bassa densità. Tipi, dimensioni e caratteristiche"
- UNI 6463-69 "Tubi di polietilene a bassa densità. Métodi di prova"
- DIN 8073 "Rohre aus Polyathylen Weich; technische Lieferbedingungen"
- DIN 8072 "Rohre aus Polyathylen Weich; Masse"
- NF T 54-043 Tubes en polyéthylène "basse densité" pour fluides avec pression. Spécifications
- NORMA ISRAELI 499 "Tuberías de P.E.B.D. y P.E.A.D. para riego y acueductos"

TABLA 1: DIMENSIONES Y PESOS DE LOS TUBOS DE P.E.B.D.

Diámetro (mm.)		NORMA 1 2,5 Bar			NORMA 2 3,2 Bar			NORMA 3 4 Bar			NORMA 4 6 Bar			NORMA 5 10 Bar			
		Espesor (mm.)		Peso Kg/mts.	Espesor (mm.)		Peso Kg/mts.	Espesor (mm.)		Peso Kg/mts.	Espesor (mm.)		Peso Kg/mts.	Espesor (mm.)		Peso Kg/mts.	
		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.		Mín.	Máx.		
10	10,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	2,0	0,043	1,7	2,1	0,045
12	12,4	-	-	-	-	-	-	1,15	1,4	0,038	-	1,4	1,6	0,046	-	-	0,063
16	16,4	-	-	-	-	-	-	1,4	1,6	0,064	-	1,8	2,2	0,082	-	-	0,111
20	20,5	-	-	-	-	-	-	1,6	2,0	0,096	-	2,2	2,6	0,123	-	-	0,170
25	25,6	-	-	-	1,6	2,0	0,122	2,0	2,4	0,146	-	2,7	3,2	0,190	-	-	0,274
32	32,7	-	-	-	2,0	2,4	0,192	2,4	2,8	0,224	-	3,5	4,0	0,310	-	-	0,441
40	40,8	1,9	2,3	0,233	2,4	2,8	0,284	3,0	3,5	0,349	-	4,3	4,9	0,476	-	-	0,686
50	51	2,4	2,8	0,360	3,0	3,5	0,444	3,7	4,3	0,538	-	5,4	6,1	0,743	-	-	1,067
63	64,1	3,0	3,5	0,568	3,8	4,4	0,706	4,7	5,3	0,848	-	6,8	7,6	1,174	-	-	1,683
75	76,3	3,6	4,2	0,810	4,5	5,1	0,985	4,6	6,3	1,20	-	8,1	9,1	1,669	-	-	2,384
90	91,6	4,3	4,9	1,148	5,5	6,2	1,439	6,7	7,6	1,731	-	9,7	10,9	2,399	-	-	3,434
110	111,8	5,3	6,0	1,723	6,7	7,6	2,149	8,2	9,2	2,575	-	11,8	13,2	3,561	-	-	5,135
125	127,1	6,0	6,8	2,218	7,6	8,5	2,735	9,3	10,3	3,299	-	13,4	14,4	4,583	-	-	6,633
160	162,6	7,7	8,7	3,637	9,7	10,9	4,505	11,9	13,3	5,426	-	17,2	18,9	7,486	-	-	10,753

TABLA 2: Presión de servicio en función de la temperatura

Temperatura (°C)	Presión máxima de servicio (Bar)				
20	2,5	3,2	4	6	10
30	2	2,6	3,2	4,8	8
40	1,6	1,8	2,4	3,8	6
50	1,2	1,6	1,8	2,7	4,5
60	0,6	0,8	1	1,5	2,5

Tabla 3: Diferencias admisibles para diámetros exteriores medios

d (mm.)	(mm.)
10	+ 0,4
12	+ 0,4
16	+ 0,4
20	+ 0,5
25	+ 0,6
32	+ 0,7
40	+ 0,8
50	+ 1,0
63	+ 1,1
75	+ 1,3
90	+ 1,6
110	+ 1,8
125	+ 2,1
160	+ 2,6

Tabla 4: Diferencias admisibles para espesores de pared

e (mm.)	(mm.)
2,0	+ 0,4
2,4	+ 0,4
2,7	+ 0,5
3,0	+ 0,5
3,3	+ 0,5
3,4	+ 0,5
3,6	+ 0,6
4,2	+ 0,6
4,5	+ 0,6
5,2	+ 0,7
5,4	+ 0,7
6,0	+ 0,8
6,7	+ 0,9
7,7	+ 1,0
8,0	+ 1,0
8,3	+ 1,0
9,6	+ 1,2
10,5	+ 1,2
11,6	+ 1,4
12,5	+ 1,4
13,4	+ 1,5
15,0	+ 1,7
18,3	+ 2,0
20,8	+ 2,3

ANEXO ASISTEMA PARA DESCUBRIR LA TENDENCIA A LA RAJADURA DE LOS TUBOS DE
POLIETILENO

- 1) Tomar una muestra del tubo a ser examinado sobre un conector de 16 mm. de diámetro (si el tubo a examinar es de 16 mm.).
- 2) El tubo montado sobre el conector debe ser introducido dentro de agua a una temperatura de 65 a 70 grados centígrados durante 20 minutos (La finalidad es disentar el tubo).
- 3) Sacar luego el tubo del agua caliente y dejarlo enfriar durante 30 minutos.
- 4) Introducir la muestra del tubo dentro de una solución de NONIDET P42 (BDH Inglaterra) diluido en agua en una proporción de 10 partes de agua sobre una parte de solución y que debe ser introducido dentro de un horno con una temperatura fija de 50 grados centígrados. La muestra del tubo debe estar toda dentro del líquido y debe ser dejada dentro del horno durante 30 minutos.
- 5) Sacar luego la muestra del horno y de la solución, secando el tubo y dejándolo enfriar por un tiempo de 45 a 60 minutos.
- 6) Las rajaduras deben ser observadas con una lupa.
En los tubos de buena calidad, las rajaduras no aparecerán.
En los tubos de mala calidad, las rajaduras van a aparecer y agrandarse con el tiempo.

IMPORTANTE

El calentamiento del tubo dentro del agua (Parágrafo 2) mejora la resistencia del tubo durante la prueba.

El mismo examen del tubo, pero sin calentar previamente en agua caliente dá una prueba más estricta del tubo.

OTRO SISTEMA DE PRUEBA

Otro sistema más severo es el uso de IGEPAL.

Este sistema figura en la clasificación americana: ASTM D-2104, Item 6.9

El nombre del producto es: IGEPAL CO-630 (ANTAROX A-400). GENERAL DYESTUFF CORP.
935 HUDSON ST, N.Y.

La forma de prueba es la siguiente: Luego de montada una muestra de tubo sobre un conector inicial, se unta este producto (en su forma original) sobre el tubo. Se deja durante unas 2 a 3 horas. Los tubos que se rajan son los desechables.

IV SEMINARIO LATINOAMERICANO
SOBRE RIEGO POR GOTEO

LA NORMALIZACION TECNICA
NUEVA HERRAMIENTA DE DESARROLLO

Elaborado por

Ing. Gerardo Cuevas
Sr. Carlos Alvarez

1981

I N D I C E

	Pág.
INTRODUCCION	1
1.- NORMALIZACION, NORMAS, CONTROL DE CALIDAD	2
NORMALIZACION Y NORMAS	3
TIPOS DE NORMAS TECNICAS	3
ELEMENTOS DE LA NORMALIZACION	6
ELABORACION DE NORMAS	9
LAS NORMAS Y EL CONTROL DE CALIDAD	12
OBJETIVOS Y VENTAJAS DE LA NORMALIZACION	12
2.- ORGANIZACIONES INTERNACIONALES, REGIONALES Y NACIONALES DE NORMALIZACION	17
3.- LA NORMALIZACION EN AMERICA Y EN VENEZUELA	18
GENERALIDADES	18
COVENIN, ORGANISMO NORMALIZADOR DE VENEZUELA	19
OBJETIVOS PRINCIPALES DE COVENIN	20
FUNCIONES DE COVENIN	21
PRINCIPALES AREAS DE ACTIVIDAD DE COVENIN	22
4.- LA COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS COPANT...	22
MIEMBROS	23
MIEMBROS ACTIVOS Y ADHERENTES	24
CARACTER	25
FINES Y OBJETIVOS	25
REFERENCIAS	26

INTRODUCCION

Existe una gran preocupación en cuanto a la calidad que deben presentar los productos y materiales utilizados en los sistemas de riego -- por goteo, ya que la misma incide drásticamente en la eficiencia de -- estos sistemas. Por tanto, emplear equipos y materiales de la calidad adecuada es uno de los elementos fundamentales para el éxito de -- este método.

El presente trabajo tiene por objeto dar a conocer la filosofía y -- alcances de la Normalización, así como los diferentes elementos que -- la conforman, con el fin de proporcionar la información necesaria -- para el desarrollo de normas y el consecuente mejoramiento de la calidad de los productos y materiales que se utilizan en los sistemas -- de riego por goteo.

1.- NORMALIZACION - NORMAS - CONTROL DE CALIDAD

La industria es una actividad compleja en la que las redes de suministro de materiales y componentes se entrecruzan, dando origen a una dependencia mutua muy marcada. Solo es posible coordinar esas redes para obtener un sistema eficaz si se consigue que las piezas fabricadas sean intercambiables y su calidad sea siempre la adecuada. La Normalización contribuye a la intercambiabilidad y al nivel de calidad de las piezas en fabricación. Generalmente el gobierno de cada país establece la Política de Normalización Nacional. Pero no basta que el gobierno establezca estas directrices; tanto el gobierno como la industria deben estar convencidos de las ventajas de la normalización y procurar incesantemente establecer en todos los sectores de la economía mecanismos que permitan estudiar, elaborar y aplicar estas normas.

Estos mecanismos deben funcionar principalmente sobre la base del principio de aceptación voluntaria.

La razón de que la normalización industrial se estableciera con carácter nacional en Norteamérica y gran parte de Europa fué que las investigaciones habían demostrado las grandes posibilidades que existían de reducir los costos de las empresas de todo tipo disminuyendo la variedad de los productos que ellas generaban, produciendo en mayores cantidades y disminuyendo también el volumen de existencias almacenadas exigido por el proceso de manufactura. En este sentido, se ha comprobado en estudios efectuados en diferentes países que con tales medidas puede conseguirse hasta un 50% (2) de ahorro en los costos de fabricación y proceso.

En los últimos dos decenios, las innovaciones técnicas han seguido aumentando continuamente (al menos en potencia) la variedad de artículos que pueden manufacturarse y la Normalización es el elemento fundamental para la reducción óptima de tales variedades.

Si los países en desarrollo aceptan el objetivo del desarrollo simultáneo de la industria y de la normalización industrial, entonces podrían ahorrarse gran parte del esfuerzo que Norteamérica y Europa -- tuvieron que hacer para normalizar su producción a posteriori. (2).

1.1 Normalización y Normas

Qué es la normalización?

Es el proceso de formulación y aplicación de reglas para un enfoque ordenado de una actividad específica, siempre con la cooperación y -- el consenso de todas las partes interesadas (consumidores, productores y técnicos) y en beneficio de dichas partes, tomándose siempre -- como factor principal la promoción para una óptima economía integral, teniendo debidamente en cuenta las condiciones funcionales y los requisitos de seguridad.(7). La normalización está basada en los resultados consolidados de la ciencia, la técnica y la experiencia y -- debe marchar a la par del progreso.

Qué es una Norma?

Es una especificación técnica que expresa la conclusión de una actividad de normalización, con la que se da óptima solución a un problema repetitivo y que ha sido aprobado y publicado por una autoridad -- competente.(7).

1.2 Tipos de Normas Técnicas

Las normas técnicas pueden clasificarse en varios tipos, bien sea --

por su carácter de aplicación, por su contenido o por su nivel de aplicación.

1.2.1 Por el Carácter de su Aplicación

a) Normas Obligatorias:

Son aquellas Normas establecidas y aprobadas como tales, por el Organismo Oficial Competente.

La exigibilidad de su aplicación, surge con la publicación oficial de la Resolución correspondiente.

b) Normas Optativas o Voluntarias:

Son aquellas Normas establecidas y aprobadas por el Organismo Oficial Competente, cuya aplicación es potestativa.

1.2.2 Por su Contenido

a) Normas de Terminología y Definiciones:

Son aquellas que reúnen términos o vocablos relacionados con determinada actividad, con el objeto de establecer su significado.

b) Normas de Clasificación:

Son aquellas en que se establece un ordenamiento de materiales o productos, en función de uso, de niveles de calidad, de variedad, etc.

c) Normas de Elaboración:

Son aquellas en que se establecen ciertas condiciones de fabricación para garantizar determinados requisitos exigidos en el producto.

d) Normas de Requisitos:

Son aquellas en que se establecen características de productos - indicando valores, límites, tolerancias, etc.

NOTA: Una norma puede abarcar uno o varios de los tipos indicados.

- e) **Normas de Métodos de Ensayo:**
Son aquellas en que se establecen los procedimientos a seguir en los ensayos necesarios para determinar si las propiedades de los productos cumplen con los requisitos fijados.
- f) **Normas de Muestreo y Recepción:**
Son aquellas en que se establece la cantidad, procedimiento de extracción y la preparación de muestras y el sistema de aceptación y rechazo de los productos.
- g) **Normas de Rotulado:**
Son aquellas en que se establece la forma de identificar, manipular y transportar el producto.
- h) **Normas de Envase y Embalaje:**
Son aquellas en que se establece las características de los materiales utilizados para proteger, transportar y almacenar el producto.
- i) **Normas de Uso:**
Son aquellas en que se establecen las pautas para la correcta utilización de un producto.

1.2.3 Por su Nivel de Aplicación

- a) **Norma de Empresa:**
Es la que una empresa establece dentro de ella misma para guiarla en su organización y en sus operaciones de compras, de fabricación, de ventas, de almacenaje, etc.
- b) **Norma de Asociación:**
Es la que establece una entidad que representa a un grupo de per-

sonas o empresas que se desempeñan en un campo de interés común.

c) Norma Nacional:

Es la que establece el Organismo Nacional de Normalización. En Venezuela, las Normas Técnicas Nacionales las establece la Comisión Venezolana de Normas Industriales, COVENIN.

d) Norma Internacional:

Es la que se establece por acuerdo realizado entre los Organismos de Normalización de los países que poseen un interés común en la materia estudiada.

1.3 Elementos de la Normalización

Los elementos de la Normalización que a continuación se describen siguen una progresión lógica, ideal en la formulación de una norma. Entre esos elementos se encontrarán normalmente la terminología, los métodos de muestreo, los métodos de ensayo, las especificaciones y los códigos de práctica.

1.3.1 Terminología

La preparación de glosarios de términos y sus definiciones es una faceta importante de la normalización que, con frecuencia constituye una ardua tarea. Estos glosarios son indispensables para redactar las normas en lenguaje claro y preciso.

1.3.2 Métodos de Muestreo

Por lo general resulta antieconómico someter a prueba todo un lote de productos, por ello, hay que elaborar un procedimiento de muestreo en el que las muestras tipifiquen con bastante exactitud el conjunto de los productos. Tanto fabricantes como compradores aceptan estos procedimientos ya que las pruebas estadísticas con las que, --

teóricamente, se obtendrían resultados casi perfectos, son por lo general antieconómicas y exigen demasiado tiempo. Al incorporar los detalles del procedimiento de muestreo a una norma, se garantiza que las muestras y el procedimiento de muestreo serán siempre los mismos.

1.3.3 Métodos de Ensayo y de Análisis

Luego de efectuado el muestreo de un producto es necesario aplicar métodos normalizados de ensayo y análisis para determinar si sus propiedades concuerdan con las pautas establecidas en las especificaciones. Para decidir el equipo y los aparatos que hayan de utilizarse, el principal factor que habrá que tener en cuenta será la posibilidad de reproducir los resultados.

Otros factores a tomar en consideración son el costo de los aparatos y la existencia de personal calificado capaz de utilizar a los mismos.

1.3.4 Especificaciones

Los principales instrumentos de la normalización son las especificaciones, que abarcan las características de las materias primas, de los materiales semielaborados y de los componentes o de los productos terminados, exigidos según la finalidad a que se destinen los productos. En términos generales, las especificaciones pueden dividirse en dos categorías, las dimensionales y las cualitativas o de rendimiento.

Las especificaciones dimensionales permiten intercambiar elementos o componentes, o establecer una gama de tamaños a fin de reducir el número de variedades al mínimo compatible con las necesidades de los compradores. Este tipo de normalización tiene gran importancia, ---

por ejemplo en las industrias mecánicas y de los materiales de construcción.

La intercambiabilidad permite disminuir los costos de almacenamiento de existencias y los servicios de mantenimiento pues se limita la gama de tamaños de los productos; también disminuye el precio al comprar, pues un artículo que se fabrica en una gama limitada de tamaños tiene un costo menor.

Al formular una norma conviene evitar establecer requisitos que limiten inútilmente la habilidad y el ingenio de los fabricantes. No es aconsejable estudiar un solo modelo o diseño satisfactorio ya existente, definir los materiales utilizados, determinar sus dimensiones y formular la especificación sobre estas bases. Sólo en circunstancias excepcionálísimas será ésta la forma indicada de preparar una Norma. La práctica y la experiencia permiten relacionar gran número de propiedades físicas, mecánicas y químicas, fácilmente determinables con el rendimiento y la regularidad de funcionamiento. Por esta razón -- propiedades como la resistencia a la tracción, la viscosidad, la presión, la densidad y la composición química, se utilizan generalmente como criterio de especificación.

1.3.5 Códigos de Práctica

En los Códigos de Práctica normalizados se recomiendan prácticas en materia de diseño, instalación y mantenimiento de equipo, construcción y servicios.

Con frecuencia abarcan también normas de seguridad, como por ejemplo, cuando se trate de tanques a presión y se mencionan las especificaciones normalizadas de los materiales que han de emplearse en las pa-

redes, la soldadura y las bridas.(2).

1.4 Elaboración de Normas. Niveles de Aplicación

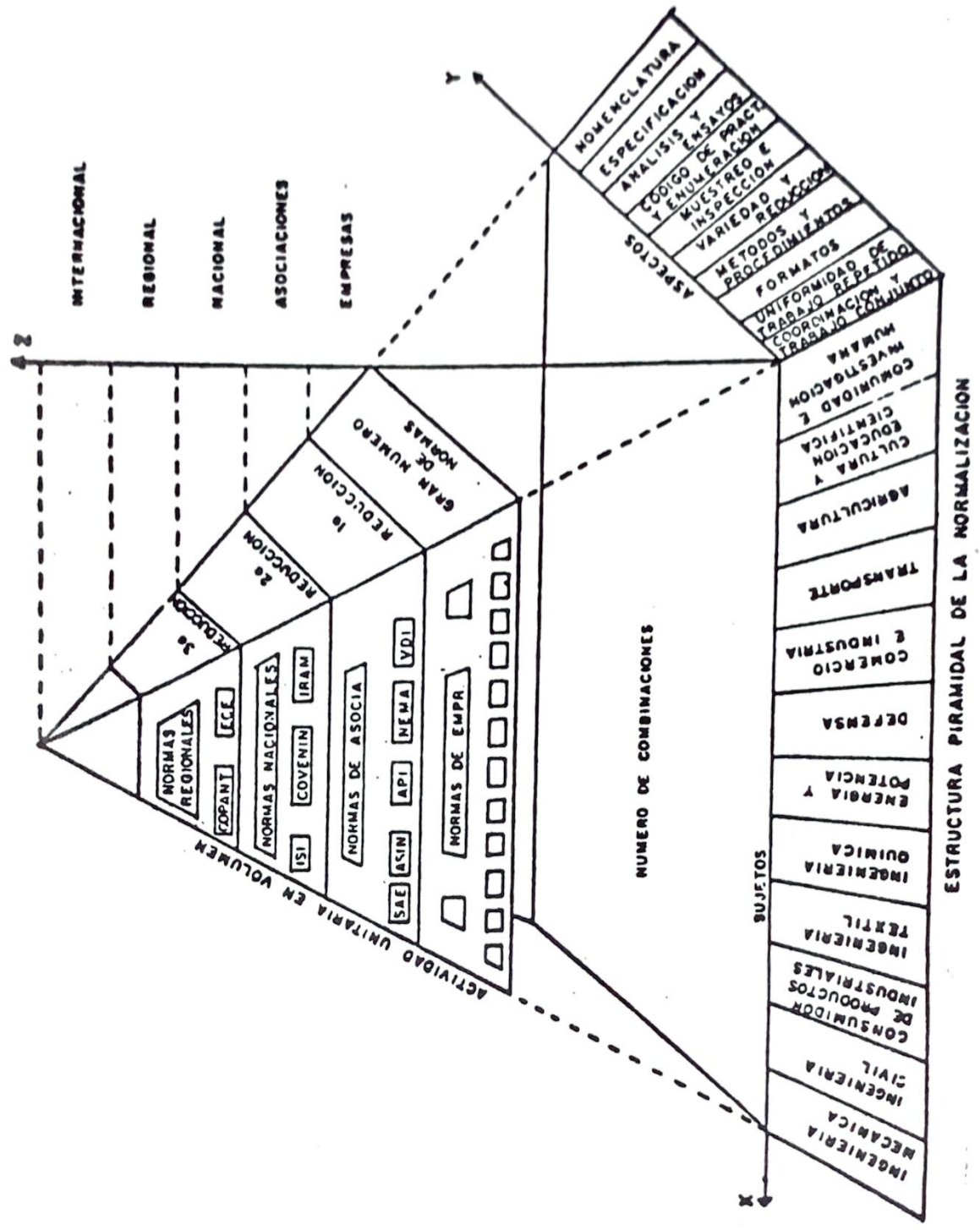
Para comprender como funciona la normalización es esencial considerarla organizada como una pirámide en la que los distintos niveles se entrecruzan (Ver Fig.). Cada nivel queda determinado por las personas que crean, utilizan y aplican la norma en sus actividades cotidianas.

El primer nivel importante es el de la norma de empresa, creada por acuerdo entre los diversos Departamentos de una misma empresa industrial, a fin de orientar su política de compras, manufacturas y ventas. Las actividades de Normalización aparecen en este nivel tanto en las economías de planificación centralizada como en las de mercado, porque las normas que elaboran los organismos nacionales de Normalización no abarcan todos los detalles de la actividad fabril.

Una Norma de Asociación o de rama industrial puede ser preparada por un grupo de personas comercialmente interesadas en cierta industria, o pertenecientes a una profesión o rama industrial determinada.

En los países industrializados los Organismos Nacionales de Normalización pueden encargarse de la preparación de las normas nacionales para un sector, aunque se reserven el derecho de no adoptar los resultados como normas nacionales, hasta comprobar que se ha consultado a todos los interesados y que ha existido una coordinación adecuada con las normas preparadas en otros sectores industriales.

Luego de celebrar una gran número de consultas a nivel nacional, los Organismos Nacionales de Normalización establecen las normas nacionales que gozan de pleno reconocimiento oficial, aunque estos organis -



mos sean privados independientes.

Es sumamente importante señalar que en la base de todo trabajo de normalización existe un elemento de consulta y de cooperación, no sólo en cada nivel determinado sino también entre los distintos niveles de la pirámide antes mencionada. Ello puede observarse incluso en la preparación de una norma obligatoria, y no depende de la estructura social y económica de los diferentes países.

Cada país deberá decidir si sus normas tendrán carácter obligatorio o de recomendación. Ciertos países como aquellos de régimen absolutista presentan un mayor porcentaje de normas obligatorias que aquellas bajo otros regímenes. En estos últimos, solo aquellas normas que contribuyan a la seguridad y protección de la vida son obligatorias. Luego del nivel nacional, se encuentran Organismos Normalizadores Regionales e Internacionales que agrupan a varios países, con la participación de los organismos nacionales de cada uno de ellos.

Los Organismos Internacionales como lo son ISO, IEC, coordinan la elaboración de normas entre varios países, quedando a elección de cada país su participación en la elaboración de normas internacionales o no. Estos organismos ocupan el más alto nivel de la pirámide, y sus normas pueden servir como base o referencia para normas elaboradas a niveles inferiores como el Regional, Nacional, de Asociación y de Empresa. Se comprende que las normas internacionales son de tipo general pero aplicables en cada país participante.

Los Organismos Regionales de Normalización trabajan a nivel de agrupaciones más restringidas de países, como América Latina, los países Panamericanos, Europa y otros, y con intereses comunes para su re --

gión elaboran normas mediante consenso, con el objeto de que les sirvan como apoyo para su intercambio comercial y mutua cooperación. Las Normas Regionales revisten carácter menos general que las Internacionales antes mencionadas, debido a que obedecen a los intereses más definidos de agrupaciones de un menor número de países.

1.5 Las Normas y el Control de Calidad

Conviene en este momento que definamos la palabra calidad, ya que por lo general cada persona tiene un concepto diferente de ella. Cada producto tiene un propósito específico y está dirigido a un consumidor específico, un grupo homogéneo de consumidores, un sector del mercado, a fin de satisfacer una necesidad existente, la cual ha sido detectada mediante la investigación de ese mercado.

Definiremos entonces calidad como el grado en que un producto satisface la necesidad de un consumidor específico de tal manera que el producto cumpla la función que el consumidor espera de él.

1.5.1 Control total de Calidad

Esta definición de calidad tiene varias implicaciones. Una de ellas es de que con el sólo control estadístico no podemos alcanzar completamente la satisfacción del consumidor, o sea, la calidad. Para lograr un producto apto para satisfacer la necesidad de un consumidor, se requiere fundamentalmente lo siguiente:

1.- Que la investigación del mercado haya identificado correctamente la necesidad que va a suplir el producto, y las características del sector del mercado al cual va dirigido el producto.

A esto lo llamaremos calidad de la investigación del mercado.

2.- Que el diseño del producto interprete adecuadamente los datos su ministrados por la investigación del mercado, y defina el producto de acuerdo con esta investigación.

A esto lo llamaremos calidad de diseño.

3.- Que el producto, al ser fabricado, reproduzca fielmente el diseño.

A esto lo llamaremos calidad de fabricación o calidad de concordancia.

4.- Que el producto llegue al consumidor al cual va dirigido, que --
llegue intacto, o sea conservando las características que se le
han impreso durante la fabricación, que llegue oportunamente al
consumidor, y que éste, en el momento de adquirirlo, reciba las
instrucciones para su utilización correcta.

A esto lo llamaremos calidad de distribución o calidad de disponibilidad.

5.- Que el producto funcione bien, o preste el servicio que se pro--
pone, durante toda su vida útil.

A esto lo llamaremos confiabilidad.

6.- Que el producto, cuando falle durante su vida útil o se desgaste
alguno de sus componentes, pueda ser sometido a reparación, o a
cambio de partes o componentes, o pueda ser reemplazado.

A esto lo llamaremos calidad de servicio.

De tal manera que la calidad es una resultante de todos estos elementos o parámetros, y para ser alcanzada se requiere por lo tanto una --
labor integrada que, partiendo de la alta dirección de la empresa, en
lace todas las funciones que acabamos de mencionar: investigación de

mercados, diseño, fabricación, distribución, servicio y confiabilidad, hacia la obtención de los objetivos gerenciales de calidad. Este enfoque de la calidad, el más moderno entre todos, ya que es posterior a 1960, se conoce como control total o control integral de la calidad.

Dentro de él, juega un papel muy importante el Control Estadístico de la Calidad, principalmente aplicable a través de todas las etapas de fabricación, en el control de las materias primas.

Porque se requiere el Control de Calidad?

La industria de hoy es una industria de producción masiva, de fabricación en serie, con tendencia a la automatización, y esto hace que el control estadístico sea cada vez más aplicable, e inevitable, especialmente en los procesos de fabricación. Esta producción en gran escala es causa y consecuencia a la vez del crecimiento de los mercados nacionales y mundiales, donde intervienen también factores de crecimiento de población y de un aumento de la prosperidad.

El control de calidad garantiza que las mercancías y los servicios cumplan los requisitos impuestos por la norma correspondiente. En países desarrollados existen asociaciones encargadas de divulgar las prácticas de control de calidad industrial y de capacitar personal en las técnicas necesarias.

Generalmente estas asociaciones son independientes de los organismos nacionales de normalización, pero trabajan en estrecha colaboración con éstas. Hay que subrayar que, desde el comienzo mismo del proceso de industrialización, los países en desarrollo tienen que adquirir conciencia de la importancia del Control de Calidad, del mismo modo

que de la importancia de la normalización.

Es preciso crear una tradición de control de calidad. En algunos países desarrollados esa tradición fué formándose poco a poco con los años, luego de la revolución industrial.

Los países en vías de desarrollo tienen que encontrar la manera de adquirir más rápidamente esta tradición de rendimiento regular y constante, sólo así podrán establecer una estructura industrial diversificada, dentro de sus propias economías y, lo que es más importante --- aún, sólo así se puede esperar integrar su esfuerzo industrial al de otros países, a nivel regional o mundial, ampliando su comercio exterior y consolidando así su desarrollo. (2).

1.6 Objetivos y Ventajas de la Normalización

1.6.1 Objetivos de la Normalización

a) Fijar Niveles de Calidad:

La normalización especifica los requisitos que deben cumplir los productos y servicios, con los cuales se fija la calidad de los mismos. Especificar es definir calidad.

b) Reducir la Diversificación de Modelos:

La Normalización reduce los tipos de un producto a un número capaz de cubrir las necesidades que prevalecen en una época dada. Simplificar es reducir modelos.

c) Asegurar Intercambiabilidad:

La Normalización fija ciertos requisitos de los productos con el fin de hacer posible la complementación e intercambiabilidad entre ellos.

1.6.2 Ventajas de la Normalización

La armonización de los objetivos enunciados anteriormente permite lograr una serie de ventajas en los campos de la economía y en el orden social indicados a continuación:

a) En el Campo de la Producción:

- Facilita el planeamiento de la producción.
- Mejora los procesos de fabricación.
- Facilita la producción en serie.
- Uniformiza la mano de obra.
- Reduce el espacio de almacenaje.
- Disminuye las existencias almacenadas.
- Disminuye costos de adquisición, fabricación, mantenimiento de equipo y embalaje.
- Incrementa la producción.

b) En el Campo de la Comercialización y el Consumo:

- Garantiza una calidad estable.
- Facilita el acceso a datos técnicos, anteriormente dispersos o inciertos.
- Facilita la selección del producto más adecuado a las necesidades.
- Agiliza la formulación de pedidos.
- Disminuye los precios.
- Reduce los plazos de entrega.
- Permite la comprobación de la calidad.
- Disminuye los litigios.

c) En el Campo de la Macroeconomía:

- Mejora la producción en cantidad, calidad y regularidad.
- Pone orden en las actividades económicas.
- Mejora la relación entre la oferta y la demanda.
- Permite la estructuración progresiva de un catálogo de productos nacionales.
- Promociona las ventas en el mercado internacional.
- Acelera el desarrollo socio-económico.

(Ver Ref. 3).

2.- ORGANIZACIONES INTERNACIONES, REGIONALES Y NACIONALES DE NORMALIZACION.

Existen Organizaciones Nacionales que datan desde 1901, como lo es la BSI (INGLATERRA), decano de los Institutos Normalizadores en el mundo. AFNOR (FRANCIA), DIN (ALEMANIA) y el antes nombrado BSI coinciden en su creación con grandes movilizaciones económicas nacionales - pacíficas o militares, esto es fácilmente explicable puesto que la normalización permite obtener el máximo rendimiento de las fuerzas productivas del país. Como otra coincidencia, debemos decir que la creación de estos institutos es anterior a la Segunda Guerra Mundial en el caso de los países desarrollados, mientras que en los países en vías de desarrollo la creación de estos organismos se llevó a cabo en la postguerra.

Para coordinar las actividades que se llevaban a cabo entre diferentes institutos nacionales, en 1926 éstos crearon la Federación Internacional de Asociaciones Nacionales de Normalización ISA, que operó entre 1926 y 1939, disuelta por inoperante luego de la Segunda Guerra

Mundial, dando paso a la creación de la Organización Internacional de Normalización ISO, fundada en 1946, agrupando actualmente a más de -- 80 países y más de 100.000 técnicos en todo el mundo.

Paralelamente, limitándose su campo al sector eléctrico, se creó la - IEC, Comisión Electrotécnica Internacional.

Igualmente existen entidades de las Naciones Unidas, tales como la Or ganización para la Agricultura y la Alimentación, FAO, y la Organiza ción Mundial de la Salud, OMS, que, en estrecho contacto, establecen normas para lograr que la humanidad sea abastecida de lo necesario - para su sustento y protección.

Las Normas y Recomendaciones que publican estas instituciones garanti zan, el establecer requisitos iguales para productos iguales manufac turados en diversas partes del mundo, y además que los mercados para ellos se amplíen a todos los países, facilitándose el intercambio co mercial de productos en beneficio de la humanidad.

3.- LA NORMALIZACION EN AMERICA Y EN VENEZUELA

En los países Americanos existe el convencimiento de la conveniencia de la normalización industrial. La preocupación de los encargados -- de esta cuestión reside en la forma de hacer frente a la creciente -- demanda de normas técnicas. En los países Norteamericanos este inte rés se ve aumentado por el fuerte intercambio comercial que realizan con el resto del mundo. Asimismo estos países muestran el mayor in-- terés por el progreso de la normalización en los países en desarro -- llo, que les afecta en su calidad de países exportadores.

En América Latina, todos los países cuentan con un organismo normali zador nacional, y se hallan agrupados en otro a nivel regional, cono-

cido como la Comisión Panamericana de Normas Técnicas, COPANT.

3.1 COVENIN, Organismo Normalizador de Venezuela

En Venezuela, la Comisión Venezolana de Normas Industriales, COVENIN, es el organismo encargado de llevar a cabo las actividades normalizadoras y las que fomentan el control de la calidad de los productos. Nace el 30 de Diciembre de 1958 mediante el Decreto 501, sin embargo es el Decreto Nº 1195 del 10-01-73, el instrumento legal que lo dota de los mecanismos necesarios para cumplir su verdadero rol de Institución responsable del desarrollo y publicación de las Normas Venezolanas COVENIN y de servir como entidad asesora del Ministerio de Fomento en materia de Normalización y Certificación de Calidad.

Entre sus miembros cuenta con representantes de:

- a) Seis Ministerios u Organismos Públicos vinculados a las actividades de Normalización.
- b) Seis Institutos especializados y comprometidos con las actividades referentes al desarrollo industrial, a la educación superior, a la investigación, la protección al consumidor y al sector laboral.
- c) Seis Asociaciones u otros organismos gremiales de industriales -- relacionados con los programas de Normalización.
- d) Tres representantes del Fondo para el Desarrollo de la Normalización y Certificación de la Calidad.

El Secretario Ejecutivo de COVENIN es el Director de Normalización y Certificación de Calidad del Ministerio de Fomento.

Hasta hoy, COVENIN ha creado Comités y Subcomités Técnicos, con lo -- que atiende a casi todos los sectores de la Industria Nacional y para

los cuales se están desarrollando programas sectoriales de Normalización con el concurso de unos 1.500 técnicos provenientes de diferentes entidades, tanto públicas como privadas, habiendo elaborado hasta el presente unas 2.000 Normas.

3.1.1 Objetivos Principales de COVENIN

- 1.- Promover la Normalización y Certificación de Calidad a nivel de las Empresas.
- 2.- Incrementar las operaciones de desarrollo y aplicación de Normas Técnicas.
- 3.- Promover el servicio de documentación sobre Normas.
- 4.- Motivar la creación de nuevos Organismos de Normalización haciendo énfasis en los Comités, Subcomités y Grupos de Trabajo dentro de cada Sector Industrial y de las áreas de servicio público --- cuando fuese necesario.
- 5.- Acrecentar las relaciones con otros Organismos de Normalización en el extranjero, en especial con ISO, IEC y COPANT.
- 6.- Obtener la cooperación de diversos Institutos de Investigación Científica y Tecnológica, así como de los Institutos de Educación Superior que funcionan en el país y su incorporación a los trabajos de Normalización y Certificación de Calidad.
- 7.- Poner de manifiesto la importancia que la Normalización tiene -- para el país en el sentido de que a través de ella pueda asegurarse un adecuado uso de los adelantos técnicos obtenidos en --- otros países y de esta forma hacer más visible el proceso de --- transferencia de tecnología.
- 8.- Promover la creación de Departamentos de Normas en empresas pú-

blicas y privadas que así lo exijan.

3.1.2 Funciones de COVENIN

- 1.- Desarrollar los Planes Nacionales de Normalización en base a los programas que adelanta el Ejecutivo Nacional en la materia.
- 2.- Representar a Venezuela en las actividades que sobre Normalización Internacional realizan la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).
- 3.- Proponer al Ministerio de Fomento la adopción de Normas Venezolanas COVENIN.
- 4.- Promover la aplicación de las Normas Venezolanas COVENIN, y recomendar al Ministerio de Fomento que se declaren obligatorias aquellas que así lo requieran.
- 5.- Elaborar los Proyectos de Resolución y Reglamentación relativas a los problemas de Normalización y Certificación de Calidad.
- 6.- Crear los Comités Técnicos que tendrán como objeto programar y desarrollar proyectos de Normas para los diversos sectores de la Normalización, así como coordinar las actividades que estos realizan.
- 7.- Autorizar a los laboratorios que reúnan las condiciones necesarias para la realización de pruebas sobre material y/o productos y los ensayos que requieren las Normas Venezolanas COVENIN.
- 8.- Asesorar al Ministerio de Fomento en todo lo relativo a la elaboración de Normas Técnicas y el otorgamiento de la Marca Norven.
- 9.- Definir la estrategia de Normalización más acorde con las exigencias de nuestra realidad industrial.

- 10.- Incorporar a la tarea de Normalización a todos los sectores representativos de los productores y consumidores.
- 11.- Efectuar una planificación global con miras a un desarrollo económico del proceso de Normalización.
- 12.- Certificar la calidad de los productos manufacturados en el país mediante la consecución del uso de la Marca de Conformidad con las Normas (Marca Norven) para protección contra competencia injusta con productores fuera de Norma, protección al consumidor y promoción e incremento de la exportación.

3.1.3 Principales Areas de Actividad de COVENIN

- 1.- Elaboración de Normas Industriales con la participación de los sectores productor, consumidor y gobierno.
- 2.- Participación en los Organismos Internacionales de Normalización.
- 3.- Atención de consultas provenientes tanto de la industria y el comercio como de los consumidores relativas a su competencia.
(Ver Ref. 5).

4.- LA COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS COPANT

4.1 A nivel de c/u de los países latinoamericanos existen organismos que a semejanza de COVENIN en Venezuela están encargados de llevar adelante las actividades de Normalización y Control de Calidad dentro del sector industrial, todas estas organizaciones están agrupadas a nivel regional a través de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas, COPANT, con sede en Buenos Aires, Argentina. Este organismo coordina todas las actividades referentes a la Normalización que sean de interés para sus miembros.

4.2 Miembros

4.2.1 La COPANT está constituida por miembros activos y por miembros adherentes.

4.2.2 Tienen el primer carácter los organismos de normalización técnica de países del continente americano reconocidos por la Asamblea de COPANT como representativos de sus propios países, que hayan sido admitidos de acuerdo con los requisitos que establecen el Estatuto y el Reglamento Interno de COPANT y cumplan con dichos requisitos.

Solamente se admite como miembro activo un organismo por cada país, o un organismo de normalización técnica integrado por varios países, cuando esté constituido específicamente para tal finalidad.

4.2.3 Pueden ser miembros adherentes de COPANT, con aprobación sujeta a decisión de la Asamblea, los organismos de normalización de carácter internacional, los organismos científicos, técnicos, comerciales, industriales y agrícolas del continente americano y organismos de normalización y entidades regionales de normalización de países no americanos.

<u>Siglas del Instituto de Normalización</u>	<u>Denominación</u>	<u>País al cual pertenece</u>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.	Brasil
COPANIT	Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas.	Panamá
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales.	Venezuela
DIGENOR	Dirección General de Normas y Sistemas de Calidad.	República Dominicana
DGN	Dirección General de Normas.	México
DGNT	Dirección General de Normas y Tecnología.	Bolivia
ICAITI	Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial.	Centro-América
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas.	Colombia
INN	Instituto Nacional de Normalización.	Chile
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización.	Ecuador
INTN	Instituto Nacional de Tecnología y Normalización.	Paraguay
IRAM	Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.	Argentina
ITINTEC	Instituto de Investigaciones Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas.	Perú
TTBS	Trinidad & Tobago Bureau of Standards.	Trinidad & Tobago
UNIT	Instituto Uruguayo de Normas Técnicas.	Uruguay

MIEMBROS ADHERENTES

INDOTEC	Instituto Dominicano de Tecnología Industrial.	República Dominicana
SABS	South African Bureau of Standards.	Sudáfrica

* El ICAITI representa a los siguientes países: El Salvador, Honduras, Costa Rica, Nicaragua, Guatemala.

4.3 Carácter

4.3.1 La Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) es una Institución Civil sin fines de lucro, que funciona con plena autonomía y sin término de duración.

4.4 Fines u Objetivos

Los fines que persigue son:

- 1.- Promover la normalización técnica en los países de América, con el fin de impulsar su desarrollo industrial, científico y tecnológico y de facilitar su comercio de bienes y servicios.
- 2.- Elaborar y aprobar normas para su reconocimiento entre los países miembros e impulsar su uso en las transacciones comerciales.
- 3.- Colaborar con los países de América y los organismos internacionales que lo requieran, en materia de normalización, metrología y control de la calidad.
- 4.- Servir como organismo de enlace y coordinación entre los institutos nacionales de normas técnicas, promover su creación y mantenimiento y representarlos conjuntamente en los casos en que así se prevea.
- 5.- Promover entre sus miembros la adopción de sistemas armonizados de control de calidad y de la metrología, con miras al otorgamiento de los sellos de conformidad con normas nacionales y panamericanas. (9).

Referencias Bibliográficas.

- 1.- INEN: El Desarrollo Científico y Tecnológico y la --
Normalización Técnica. Por: Ing. Raúl Estrada
A.
- 2.- Organización de las Naciones Unidas: Monografías ONUDI sobre
el Desarrollo Industrial, Normalización.
- 3.- ITINTEC: Elementos de la Normalización.
- 4.- ITINTEC: Guía para la presentación y estructuración de
Normas Técnicas Nacionales.
- 5.- COVENIN: Historia de la Normalización en Venezuela.
- 6.- COVENIN: Ley sobre Normas Técnicas y Control de Calidad.
- 7.- COVENIN: Curso sobre Normalización.
- 8.- ISO: Términos Generales y sus Definiciones referen-
tes a Normalización y Certificación.
- 9.- COPANT: Catálogo Normas Panamericanas y Recomendacio--
nes COPANT.

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS GENERALES PARA EL
DISEÑO Y EVALUACION DE
SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO

Ing^o Agr^o ROBERTO VILLAFANE

Barquisimeto

Mayo 1981

RESUMEN

El trabajo comienza con aspectos muy generales sobre la información básica requerida y algunas consideraciones en cuanto al diseño en sí, luego detalla una alternativa de procedimiento para el cálculo hidráulico de las tuberías, prosigue con la evaluación de campo y finaliza refiriéndose brevemente a la operación y mantenimiento.

C O N T E N I D O

INTRODUCCION

COMPONENTES DEL SISTEMA

INFORMACION BASICA PARA EL DISENO

ASPECTOS RELACIONADOS CON EL DISENO

CALCULO HIDRAULICO DE LAS TUBERIAS

REQUERIMIENTOS DE PRESION Y CAUDAL

DETERMINACION EN CAMPO DE LA UNIFORMIDAD DE EMISION

NORMAS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO

BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

El riego por goteo constituye en la actualidad una de las mejores alternativas para el aprovechamiento agrícola de pequeñas fuentes de abastecimiento de agua.

Está comprobado que este método de riego incide notablemente en el aumento de la productividad de los cultivos debido a que garantiza una suplencia adecuada de agua y nutrientes. Por otra parte, la reducción del volumen de suelo humedecido al realizar la aplicación localizada del agua, facilita las labores de fumigación y cosecha, y restringe el desarrollo de plantas indeseables. No se pueden ignorar, sin embargo, los inconvenientes que con frecuencia ocasionan la obstrucción de los goteros y la concentración de sales en la periferia del bulbo de humedecimiento los cuales son hoy objeto de atención por parte de investigadores y fabricantes.

El presente trabajo pretende servir como material de referencia a aquellas personas que se inician en el diseño y evaluación de proyectos de riego por goteo; inicialmente contiene aspectos muy generales relacionados con la información básica requerida y algunas consideraciones sobre el diseño en sí, luego detalla una alternativa de procedimiento para el cálculo hidráulico de las tuberías, dejando una motivación para análisis específicos; prosigue con la evaluación de campo y finaliza con la operación y mantenimiento, recalcando la importancia que el proyectista debe darle a este aspecto.

COMPONENTES DEL SISTEMA

Un sistema de riego por goteo típico consta esencialmente de tres (3) elementos, a saber:

1. Los goteros: son los dispositivos de emisión del agua la cual es descargada a presión atmosférica. En ellos se disipa la presión del sistema a través de la pérdida de carga en delgados conductos de largo recorrido o pequeños orificios (ver figura N° 1).
2. Las tuberías: son las que conducen el agua de la fuente de suministro a los goteros. Se pueden diferenciar tres (3) categorías:
 - a. Tuberías laterales: las que contienen a los goteros (ver figura N° 2)
 - b. Tuberías múltiples: las que surten a las laterales.
 - c. Tuberías principales: las que surten a las múltiples.
3. El cabezal de control: es el elemento regulador del flujo, la presión y la fertilización (ver figura N° 3). Por lo general consta de:
 - a. Un (1) sistema de control de presión.
 - b. Un (1) sistema de control de flujo (caudal)
 - c. Un (1) sistema de filtros
 - d. Un (1) sistema de inyección de fertilizantes.

INFORMACION BASICA PARA EL DISEÑO

El riego por goteo como cualquier otro método de riego requiere la recabación y procesamiento de cierta información básica mínima para su diseño. Esta es la siguiente:

1. Cultivo (s) a regar: profundidad, distribución y extensión radicular, densidad de siembra, etc.
2. Recursos hidráulicos disponibles: calidad, cantidad, oportunidad y al

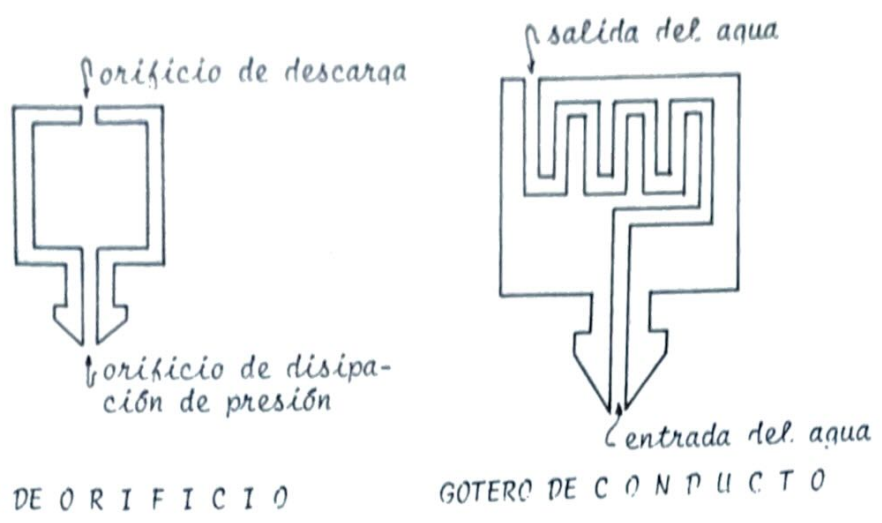


Figura N°1. Tipos generales de goteros.

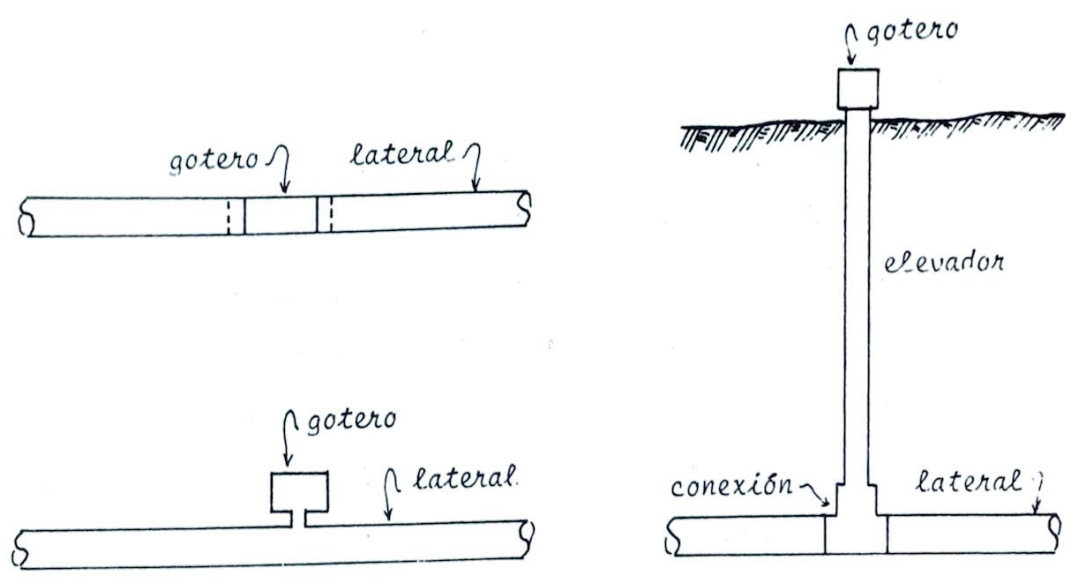


Figura N°2. Líneas laterales con diferentes tipos de conexión de goteros.

tura o profundidad a que se encuentra.

3. Caracterización física de los suelos: profundidad, constantes de humedad, densidad aparente, permeabilidad vertical y horizontal, porosidad drenable e infiltración.
4. Información agroclimática: precipitación efectiva, evaporación, temperatura, evapotranspiración, etc.
5. Plano topográfico de la propiedad : tamaño y forma del área, y pendientes y relieve del terreno.
6. Goteros, Tuberías y accesorios disponibles en el mercado y sus costos.

ASPECTOS RELACIONADOS CON EL DISEÑO.

1. Trazado de líneas: el riego por goteo no es otra cosa que una red de tuberías laterales y múltiples conectadas a la línea principal para suministrar agua a los goteros. Cada múltiple con sus respectivos laterales constituye una unidad o bloque cuyo tamaño depende básicamente de la forma del terreno y sus pendientes.

Un diseño adecuado es el producto del análisis técnico-económico de diferentes alternativas de trazado de las líneas y tamaño de las unidades.

Las múltiples deben trazarse siguiendo la pendiente predominante y los laterales en pendiente cero (ver figura N° 4). Esto no siempre es posible, por lo general tanto la múltiple como los laterales van en pendiente y en algunos casos los laterales de un lado siguen una pendiente diferente a los del otro como se observa en las figuras 5 y 6.

El trazado de la principal está sujeto a la división del campo y a la ubicación de las múltiples.

2. Lámina requerida (L_n): está en función de la profundidad de suelo a humedecer, su capacidad de almacenamiento de agua aprovechable y el porcentaje de

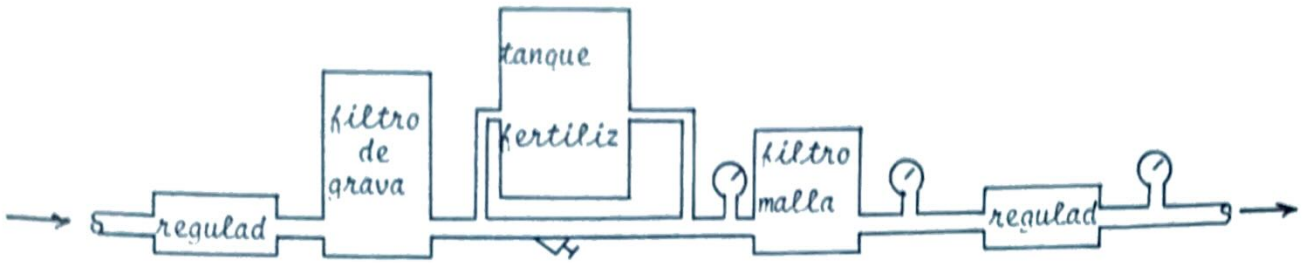


Figura N°3. Cabezal de control típico.

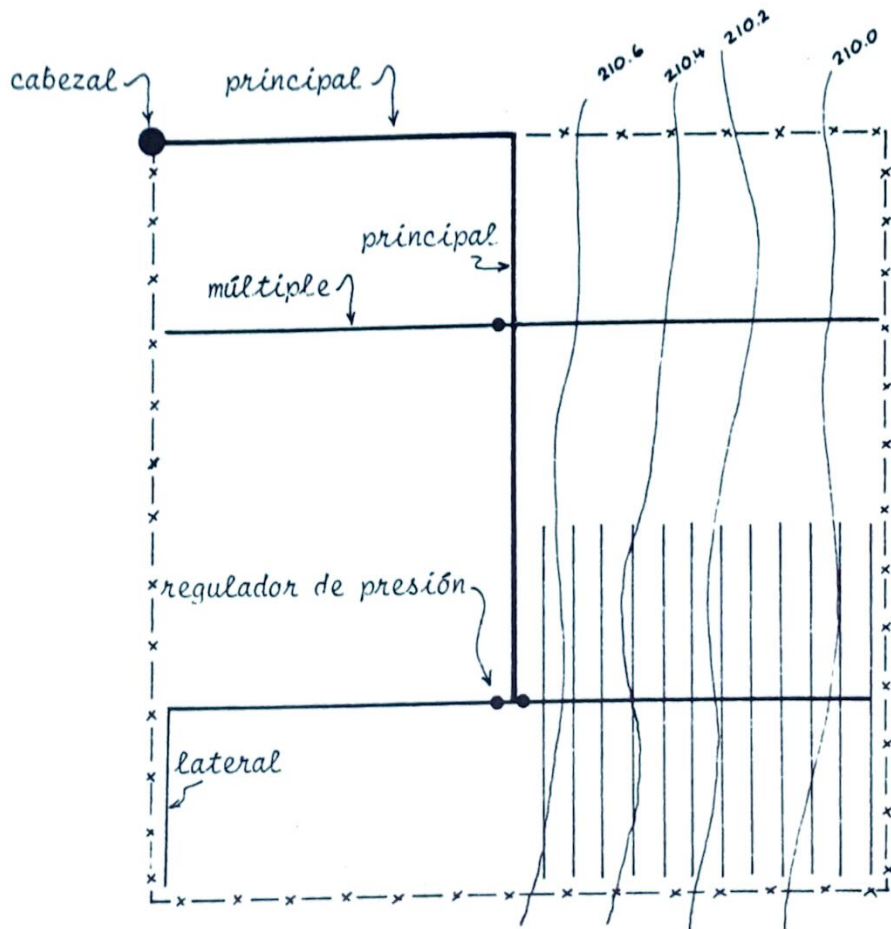


Figura N°4. Trazado de las tuberías

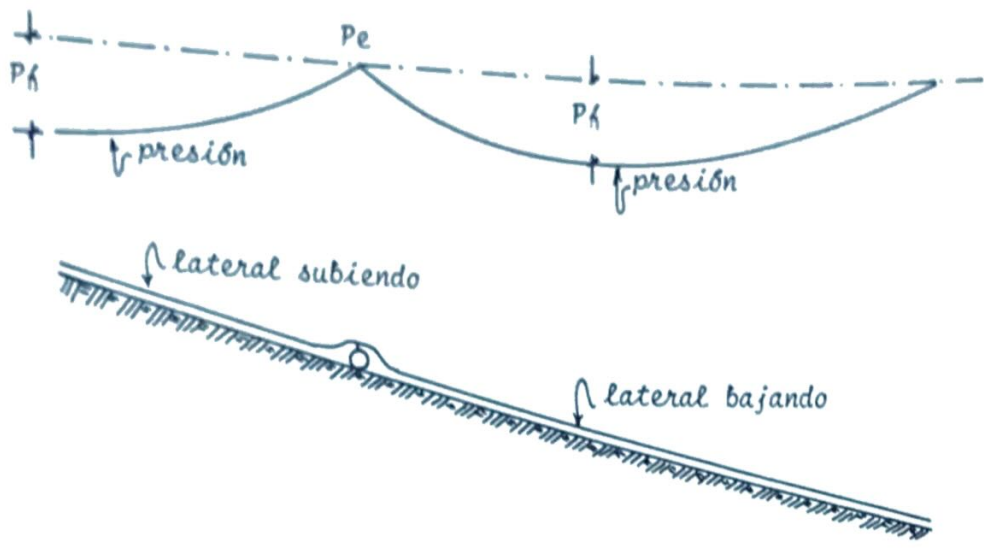


Figura N°5. Tubería múltiple con laterales a ambos lados; unos ganan presión por desnivel y otros la pierden.

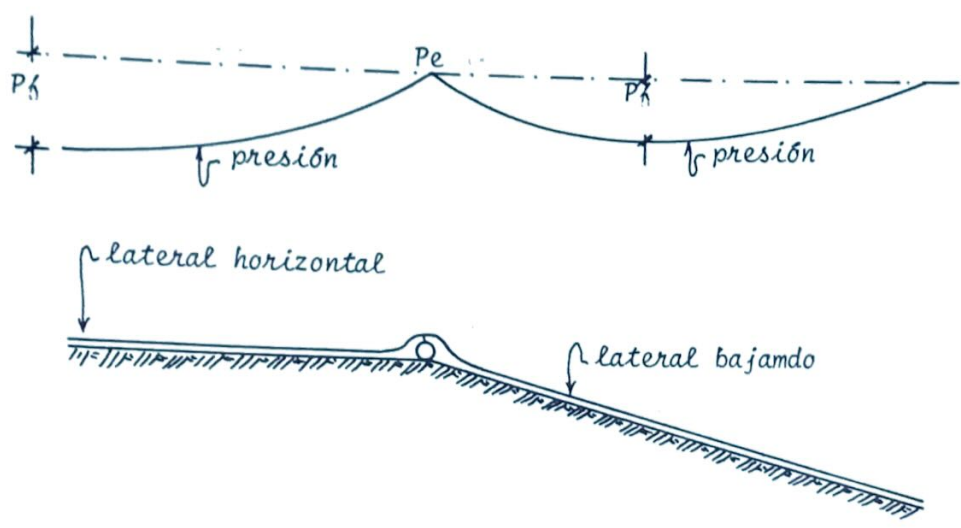


Figura N°7. Tubería múltiple con laterales a ambos lados, en diferentes pendientes.

agotamiento adoptado. Ejemplo:

Profundidad de suelo: 70 cm.

Capacidad de almacenamiento útil: 12 cm. de agua en 70 cm. de suelo.

Porcentaje de agotamiento adoptado : 10%

$$L_n = 12 \times 0.10 = 1,2 \text{ cm.}$$

3. Lámina a aplicar (L_b): es la lámina neta afectada por la eficiencia de aplicación (E_a). Esta última se obtiene de la siguiente expresión:

$$E_a = T \cdot U \cdot E \quad , \quad \text{donde:}$$

E_a es la eficiencia de aplicación

T es la relación entre la transpiración y la aplicación.

U es la uniformidad de emisión de los goteros

Los valores de T están en función de las pérdidas por evaporación y por percolación en las mínimas áreas humedecidas:

$$T = \left(1 - \frac{\% \text{ EVAP.} + \% \text{ PERCOL}}{100} \right) 100$$

En un buen diseño T puede estar por el orden de 90%

La uniformidad de emisión está afectada por:

- Pérdidas de carga en las líneas por fricción y elevación.
- Obstrucción de los goteros
- Variación de descarga de los goteros por diferencias debido a tolerancia de manufactura.

En consecuencia:

$$L_b = \frac{L_n}{E_a} \times 100 \quad , \quad \text{donde:}$$

L_b es la lámina bruta, en m.

L_n es la lámina neta, en m.

E_a es la eficiencia de aplicación.

4. Volumen de agua a aplicar (V_b): es la cantidad de agua a aplicar y viene dada por la siguiente expresión:

$$V_b = L_b \cdot A_e, \text{ donde:}$$

V_b es el volumen bruto total en m^3

L_b es la lámina bruta en m.

A_e es el área efectiva total en m^2

El área efectiva es el área a humedecer. Para su determinación hay que tener en cuenta la densidad de siembra, ya que cultivos con grandes distanciamientos será suficiente humedecer un 30% del área, mientras que en cultivos densos posiblemente habrá que humedecer toda el área.

5. Intervalo entre riegos (FR): viene dado por la lámina neta de riego (L_n) y la velocidad de consumo de agua por la planta (transpiración). Por lo general, se usa como consumo el valor correspondiente al uso consuntivo diario (UCD), por ser engorrosa la determinación de la transpiración.

$$FR = \frac{L_n}{UCD}$$

6. Descarga del gotero o emisor (q_e): es razonablemente económico en el diseño del riego por goteo, partir de una operación continua. La descarga del gotero se obtiene, afectando al volumen bruto por el tiempo de aplicación establecido; en consecuencia, si la operación es continua, el UCD corresponderá a L_n y el tiempo de aplicación será de veinticuatro horas. Ejemplo:

Uso consuntivo diario: 0,006 m. Cultivo: limón. Espaciamiento: 6x6

Eficiencia de aplicación (E_a): 80% (asumida)

Area efectiva por planta: 30%

Si se instala un gotero por planta:

$$\text{Caudal neto } (q) = \frac{6 \times 6 \times 0.3 \times 0.006 \times 1000}{24} = 2,7 \text{ l/hr.}$$

$$\text{Caudal del emisor } (q_e) = \frac{q}{E_a} = \frac{2,7}{0.8} = 3,38 \text{ l/hr.}$$

Si solo contáramos con el agua cuatro (4) días a la semana, entonces:

$$q = \frac{6 \times 6 \times 0.3 \times 0.006 \times 1000 \times 7}{4 \times 24} = 4.73 \text{ l/hr.}$$

$$q_e = \frac{q}{E_a} = \frac{4,73}{0.8} = 5.91 \text{ l/hr}$$

Como se puede apreciar, en la medida que el tiempo disponible para regar sea menor, los requerimientos de capacidad del gotero y las tuberías será mayor, lo que encarecería el proyecto.

7. Selección del gotero: por lo general los goteros representan más del 20% de la inversión del proyecto por lo que su escogencia debe ser acertada. Indudablemente que para hacer la selección hay que partir de lo que ofrece el mercado. En primera instancia la selección se hace en base a la adaptabilidad que ellos puedan tener a las condiciones de humedecimiento esperadas, el costo de los mismos y la preferencia del diseñador y/o el beneficiario. Luego se hace la selección del gotero específico en base a las tablas que suministran los fabricantes, a las calibraciones que haya a bien realizar para corroborar la información suministrada y a las evaluaciones de campo para precisar si el bulbo de humedecimiento que se produce se corresponde con las exigencias del proyecto. Por ejemplo: es posible que después de una evalua-

ción se concluya que en lugar de usar un gotero de salidas múltiples deba escogerse uno de una sola salida o viceversa. En ello influye naturalmente el área a humedecer, su profundidad, la descarga del gotero, las características de permeabilidad vertical y horizontal de cada capa de suelo y el proceso de absorción por parte del sistema radicular de la planta. Todo ello constituye un interesante campo de investigación.

La descarga del gotero está en función de la presión de operación, según la siguiente ecuación (ver figura N° 7)

$$q_e = P_o^n, \text{ donde}$$

q_e es la descarga del gotero en l/hr.

P_o es la presión de trabajo del gotero, en m.

C es un coeficiente de proporcionalidad que caracteriza a cada gotero.

n es un exponente que depende del régimen de flujo.

El régimen de flujo viene dado por el número de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}, \text{ donde}$$

Re es el número de Reynolds, adimensional.

V es la velocidad del flujo en m/seg.

d es el diámetro de la sección transversal del flujo, en m.

ν es la viscosidad cinemática del agua, en m^2/seg .

El número de Reynolds nos permite definir cuatro regímenes de flujo, a saber:

- Régimen laminar: cuando $Re \leq 2.000$
- Régimen inestable: cuando $2.000 < Re \leq 4.000$
- Régimen parcialmente turbulento: cuando $4.000 < Re \leq 10.000$
- Régimen turbulento: cuando $Re > 10.000$

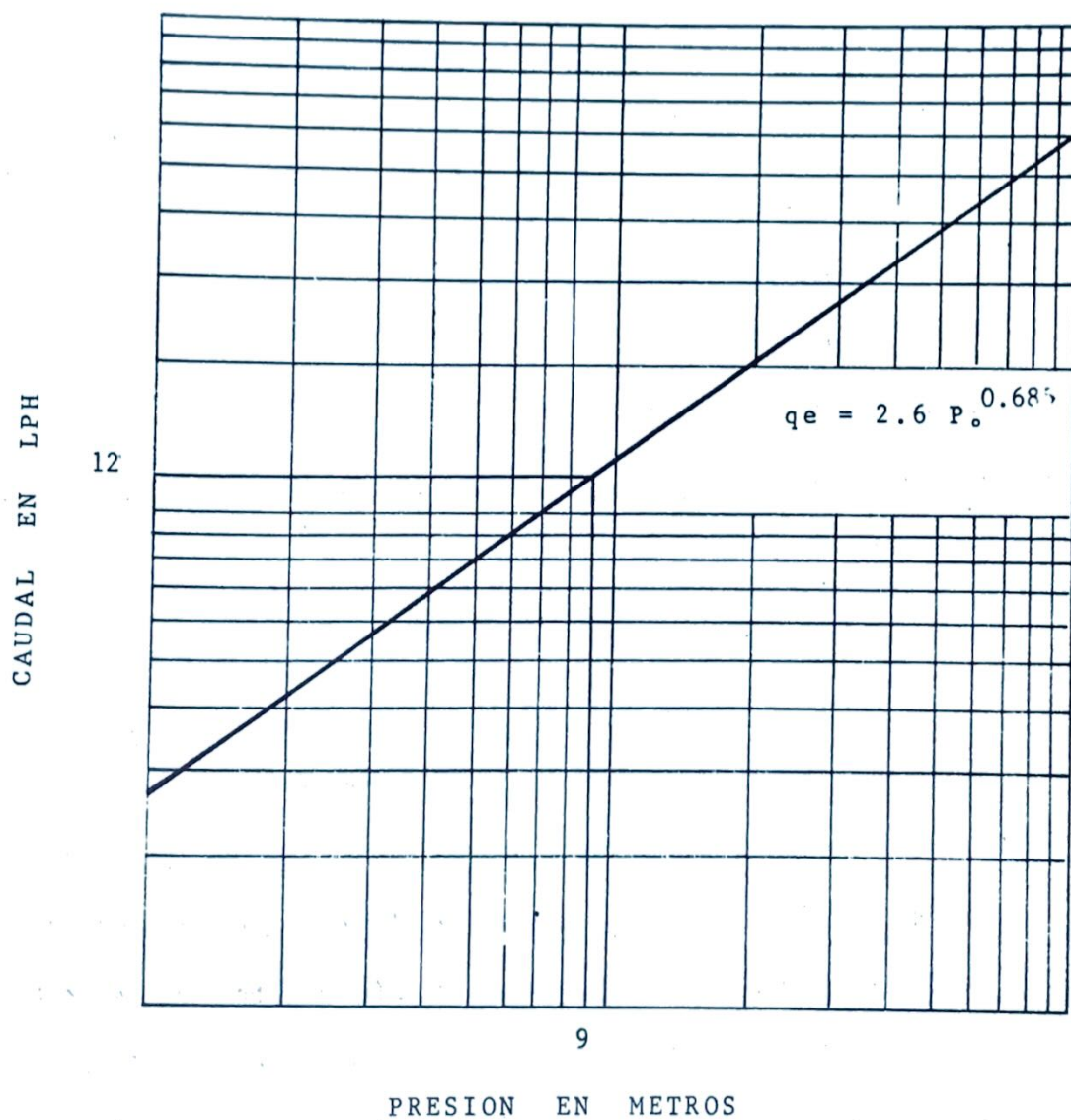


Figura N°7. Curva de calibración del gotero tipo vaso, de largo recorrido y múltiples salidas.

CALCULO HIDRAULICO DE LAS TUBERIAS.

El cálculo hidraulico de las tuberias tiene como objetivo determinar los menores diámetros que cumplan con los requisitos del proyecto.

1. Diseño de la línea lateral: para su diseño se requieren los siguientes pasos:

a. Caudal del lateral (Q_l): es una función del caudal del gotero y del número de éstos en la línea

$$Q_l = N \cdot q_e \quad , \quad \text{donde:}$$

Q_l es el caudal del lateral, en l/seg.

N es el número de goteros por lateral

q_e es el caudal del gotero, en l/seg.

b. Longitud del lateral (L_l): es una función del espaciamiento entre goteros y del número de éstos por lateral:

$$L_l = N \cdot S_e \quad , \quad \text{donde:}$$

L_l es la longitud del lateral, en m.

S_e es la separación entre goteros en la línea, en m.

c. Pérdida de carga permisible (AH_l): para garantizar una alta uniformidad de emisión, la pérdida de carga permisible (AH) entre el punto de control de presión y el gotero más alejado a éste no debe exceder el 15% de la presión media de operación del gotero. Esto garantiza que la diferencia del caudal de descarga entre el gotero más cargado y el menos cargado no sea superior al 10%. Con frecuencia los reguladores de presión se instalan a la entrada de la tubería múltiple, repartiéndose las pérdidas de carga entre ésta y la línea lateral. En base a costos se ha establecido como norma que:

$$AH_l = 0.55 AH \quad \text{y}$$

$$AH_m = 0.45 AH, \text{ donde:}$$

AH_l es la pérdida de carga permisible en el lateral, en m.

AH_m es la pérdida de carga permisible en la múltiple, en m.

AH es la pérdida de carga permisible en la unidad, en m.

- d. Diámetro de la tubería (D_l): la fórmula usual para el cálculo del diámetro es la de Hazen Williams con las adaptaciones del caso:

$$D_l = \left[\frac{121 \times 10^8 (L_l + N \cdot L_a) \left(\frac{Q_l}{C} \right)^{1.852}}{A_{hl} F} \right]^{0.2053}, \text{ donde:}$$

D_l es el diámetro interno de la tubería, en mm.

L_l es la longitud del lateral, en m.

L_a es la longitud añadida con pérdida de carga por fricción igual a la que ocurre en el lateral, por las conexiones de los goteros.

C es un coeficiente de fricción cuyo valor para tuberías de plástico de diámetro constante es 150.

F es un factor reductor por el número de goteros o salidas que tenga la tubería

A_{hl} es la pérdida de carga por fricción, en m.

En relación a los valores de longitud añadida con pérdida de carga por fricción igual a la que ocurre en el lateral, se da la siguiente tabla extraída de la bibliografía N° 2.

TIPO DE CONEXION	LONGITUD AÑADIDA POR GOTERO
En la línea	De 1 a 3 m.
sobre la línea	De 0.1 a 0.6 m.
En elevador	De 0.3 a 1 m.

En cuanto al factor reductor F se puede señalar que la tubería lateral al igual que la múltiple, tiene varias salidas uniformemente espaciadas por donde se va descargando el caudal. En consecuencia cada tramo conduce un caudal diferente. Si se determinan las pérdidas de carga por fricción en cada tramo y su sumatoria se iguala a la ocurrida en toda la tubería, se obtiene la ecuación de Hazen-Williams afectada por la siguiente expresión:

$$\frac{(1 + 2 + 3 + \dots + N)^{1,852}}{N^{2,852}}, \text{ donde:}$$

N es el número de salidas o goteros. Dicha expresión es lo que se conoce como factor F y depende exclusivamente del número de salidas. En la tabla N°1 se dan valores de F para diferentes valores de N .

Cuando el lateral se encuentra en pendiente (suba o baja), para el cálculo de la pérdida de carga por fricción ($A \text{ hl}$) debe considerarse la pérdida de carga por desnivel (o ganancia). Si sube, una parte de la pérdida permisible se va a emplear en vencer el desnivel; por el contrario, si baja, se producirá una ganancia de carga que permitirá aumentar las pérdidas de carga por fricción.

2. Diseño de la tubería múltiple: la múltiple surte a las líneas laterales y su diseño es similar por tener varias salidas uniformemente espaciadas.

a. Caudal de la múltiple (Q_m): es una función del caudal del lateral y del número de laterales:

$$Q_m = Nl \cdot Q_l + \frac{Nl}{w} q_e, \text{ donde}$$

Q_m es el caudal de la múltiple, en l/seg.

Nl es el número de laterales.

Q_l es el caudal del lateral, en l/seg.

TABLA N° 1
VALORES DE F

NUMERO DE SALIDAS	VALOR DE F
1	1,000
2	0,639
3	0,535
4	0,486
5	0,457
6	0,435
7	0,425
8	0,415
9	0,409
10	0,402
11	0,397
12	0,394
13	0,391
14	0,387
15	0,384
16	0,382
17	0,380
18	0,379
19	0,377
20	0,376
22	0,374
24	0,372
26	0,370
28	0,369
30	0,368
35	0,365
40	0,364
50	0,361
100	0,356
más de 100	0,351

w es el número de lados de la múltiple con laterales.

q_e es el caudal del emisor, en l/seg.

- b. Longitud de la múltiple (L_m): es una función del espaciamiento entre laterales y del número de laterales por lado:

$$L_m = \frac{Nl \cdot Sl}{w}, \quad \text{donde:}$$

L_m es la longitud de la múltiple, en m.

Sl es la separación entre laterales, en m.

w es el número de lados de la múltiple con laterales.

- c. Diámetro de la tubería múltiple (D_m): se emplea la misma que para el cálculo de laterales:

$$D_m = \left(\frac{121 \times 10^8 \cdot L_m \left(\frac{Q_m}{C} \right)^{1.852} F}{Ah_m} \right)^{0.2053} \quad \text{donde:}$$

D_m es el diámetro interno de la tubería, en mm

L_m es la longitud de la tubería, en m.

C es el coeficiente de fricción para tubería de un mismo diámetro y material.

F es el factor reductor por el número de salidas por lado.

Ah_m es la pérdida de carga por fricción, en m.

3. Diseño de la línea principal: aquí es conveniente un análisis de todo el sistema a fin de garantizar los requerimientos de caudal y presión en cada tramo de la misma. El cálculo hidráulico para la determinación de los diámetros se hace por tramos de igual caudal, utilizando la ecuación de Hazen-Williams; para ello deben asumirse pérdidas de carga que armonicen los costos de la energía de presión exigidos en el sistema. Cuando la presión no sea una

Límitante económica deben adoptarse las mayores pérdidas de carga posible a objeto de obtener diámetros más pequeños que redunden en menores costos. En caso que exista ganancia de carga o que las presiones requeridas aguas abajo sean inferiores, se pueden adoptar tales diferencias como pérdidas por fricción.

REQUERIMIENTOS DE PRESION Y CAUDAL.

Es oportuno destacar que el gradiente de presión entre dos goteros consecutivos es mayor en los primeros tramos del lateral que en los últimos, ubicándose la presión media de operación (P_o) en el 40% de la longitud de la tubería, cuando ésta es de un solo diámetro y se encuentra totalmente horizontal (Ver figura N° 8). En las líneas múltiples, si consideramos a los laterales como grandes goteros, la situación es igual; en consecuencia:

$$P_{el} = P_o + 0.77 Ahl \quad y$$

$$P_{em} = P_{el} + 0.77 Ahm \quad , \text{ donde:}$$

P_{el} es la presión a la entrada del lateral, en m.

P_o es la presión media de operación del gotero (obtenida en las tablas de especificaciones de los fabricantes).

P_{em} es la presión a la entrada de la múltiple, en m.

Por lo general estas líneas se trazan sobre terrenos en pendiente, inclidiendo el desnivel en la obtención de las presiones de entrada:

$$P_{el} = P_o + 0.77 Ahl \pm 0.4 Ae \quad y$$

$$P_{em} = P_{el} + 0.77 Ahl \pm 0.4 Ae \quad , \text{ donde}$$

Ae es la pérdida o ganancia de carga por desnivel.

Si la tubería va subiendo y el desnivel es considerable la línea de presión resul-

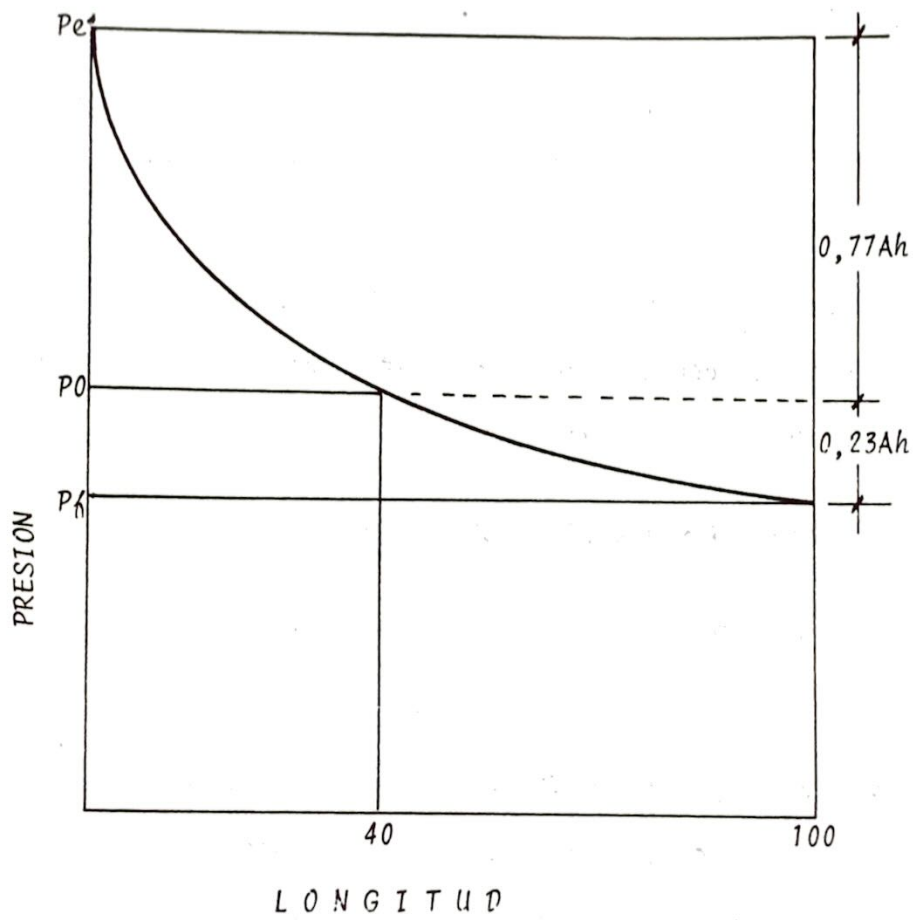


Figura N°8. Distribución de la presión en una tubería horizontal con múltiples salidas uniformemente espaciadas

tante se verá afectada sustancialmente, desplazándose el punto de ubicación de la presión media de operación como se puede observar en la figura N° 9; entonces:

$$P_{el} = P_o + 0.80 A_{hl} + 0.45 A_{el} \quad y$$

$$P_{em} = P_{el} + 0.80 A_{hm} + 0.45 A_{em} \quad ,$$

cuando A_e es casi el doble de A_h , o

$$P_{el} = P_o + 0.83 A_{hl} + 0.5 A_{el} \quad y$$

$$P_{em} = P_{el} + 0.83 A_{hm} + 0.5 A_{em} \quad ,$$

cuando A_e es considerablemente grande en relación a A_h .

En estos casos de pendiente ascendente las pérdidas de carga son el resultado de la suma de las pérdidas por fricción y elevación:

$$A_{HL} = 0.55 A_H = A_{hl} + A_{el} \quad y$$

$$A_{Hm} = 0.45 A_H = A_{hm} + A_{em}$$

Contrariamente, cuando los desniveles contribuyen significativamente con ganancia de presión (caso de tuberías bajando), podrían igualarse las ganancias totales de carga con las pérdidas totales por fricción como se muestra en la figura N° 10.

En dicha figura se aprecia que el comportamiento de las pérdidas de carga tienen una tendencia logarítmica mientras que las ganancias de carga, en el caso de un terreno con pendiente uniforme, es una recta; tal circunstancia permite apreciar que a lo largo de la tubería no hay equilibrio de las pérdidas con las ganancias; la menor presión se localiza en el 40% de la longitud y la promedio al 85%. Por lo tanto, para el cálculo de la presiones de entrada tanto en las líneas laterales como en las múltiples se deben utilizar las siguientes ecuaciones:

$$P_{el} = P_o + 0.98 A_{hl} - 0.85 A_{el} \quad y$$

$$P_{em} = P_{el} + 0.98 A_{hm} - 0.85 A_{em}$$

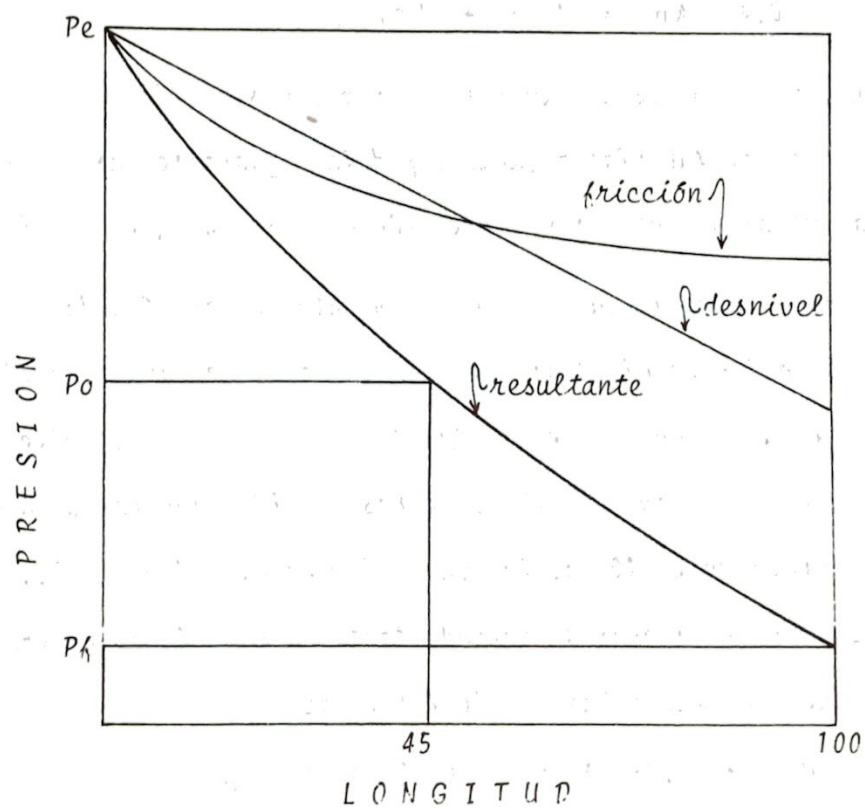
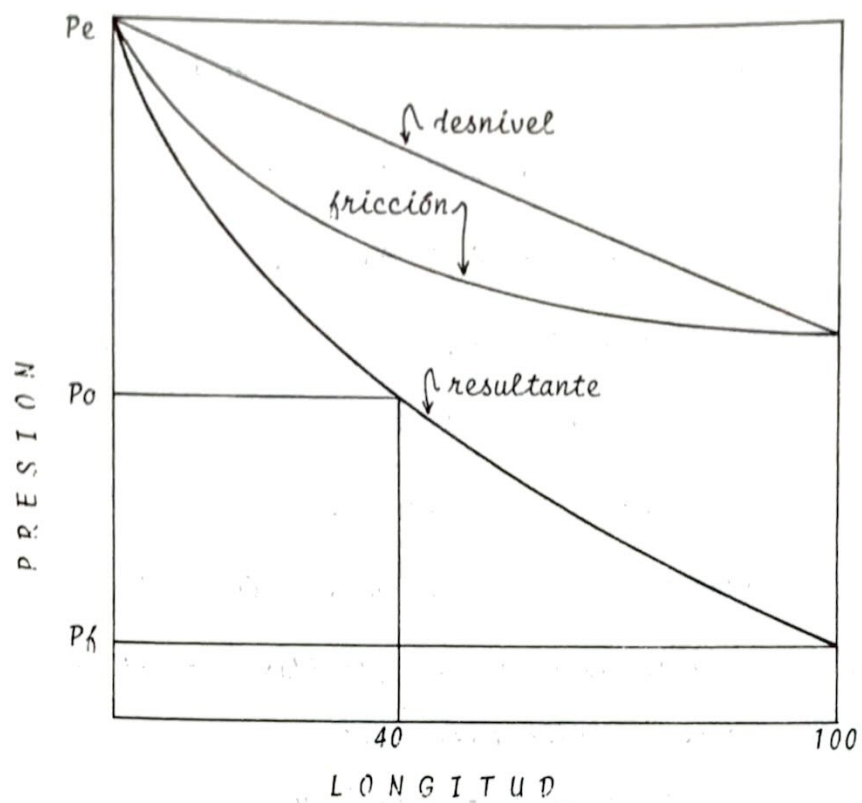


Figura N° 9. Distribución de la presión en una tubería de múltiples salidas uniformemente espaciadas, cuando sube.

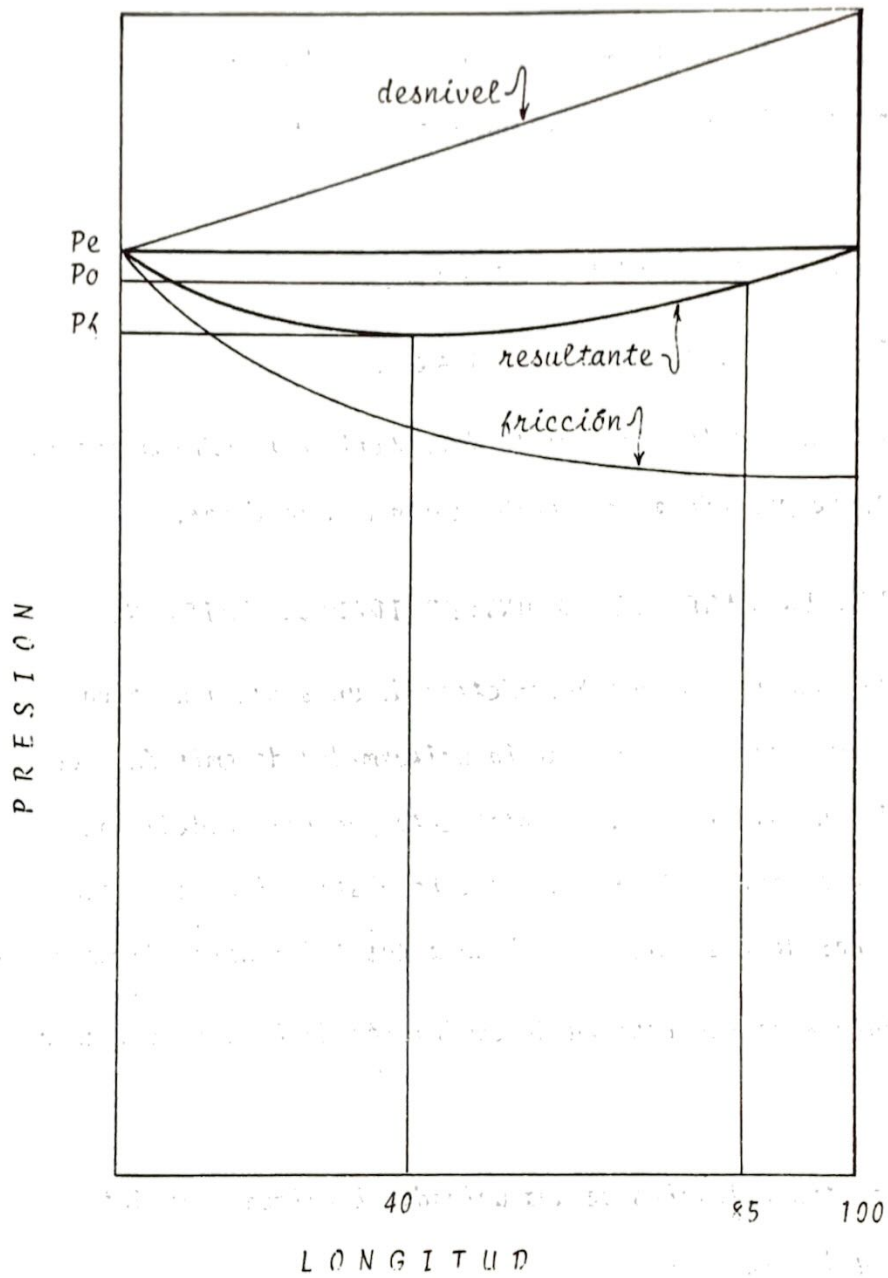


Figura N°10. Distribución de la presión en una tubería de múltiples salidas uniformemente espaciadas, cuando baja

Ahora bien, en todo caso la diferencia entre la presión de entrada y la mínima debe ser igual o inferior a la pérdida de carga permisible, es decir:

$$AHL = 0.55 AH = Pel - Pfl \quad y$$

$$AHm = 0.45 AH = Pem - Pfm \quad \text{donde:}$$

Pfl y Pfm son las mínimas presiones en el lateral y la múltiple respectivamente;

$$Pfl = Pel - 0.77 Ahl + 0.4 Ael$$

$$Pfm = Pem - 0.77 Ahm + 0.4 Aem.$$

Cuando la diferencia entre la presión de entrada y la mínima sea superior a lo máximo permisible, se procede a una combinación de diámetros.

DETERMINACION EN CAMPO DE LA UNIFORMIDAD DE EMISION.

Un buen índice para la evaluación práctica de un sistema de riego por goteo lo constituye la determinación en campo de la uniformidad de emisión. Como se indicó antes esta está influenciada fundamentalmente por las pérdidas de carga por fricción y elevación que ocurren en las tuberías, la obstrucción de goteros y las diferencias individuales de los emisores debido a las tolerancias de manufactura.

Un procedimiento sencillo para la determinación de la uniformidad de emisión es el siguiente:

1. Se toman cuatro laterales de una unidad: el primero, el último y los ubicados a un tercio y dos tercios.
2. De cada uno de dichos laterales se toman cuatro goteros: el primero, el último, y los ubicados a un tercio y dos tercios.
3. Cada uno de los diez y seis goteros se afora volumétricamente y se determina la media de todos los valores y la media de los cuatro menores.

4. Se calcula la uniformidad de emisión relacionando ambas medias como se indica a continuación:

$$UE = \frac{q_x}{q_e}, \text{ donde:}$$

VE es la uniformidad de emisión.

q_x es la media de los cuatro menores valores

q_e es la media de los diez y seis valores

NORMAS DE OPERACION Y MANTENIMIENTO.

Ante todo es bueno destacar que cada proyecto constituye un caso particular y por ende requiere normas específicas para su operación y mantenimiento; en consecuencia el diseñador debe dedicar en su informe un capítulo especial para ello, ya que de una buena operación y de un mantenimiento adecuado depende el éxito del proyecto.

La operación de un sistema de riego por goteo puede ir desde la completamente manual hasta la totalmente automatizada, en todo caso se debe garantizar una entrega de agua oportuna y en cantidad suficiente, a través de los controles de presión y caudal a nivel de cabezal y de entradas de unidades, completando esto con el aforo volumétrico de algunos goteros escogidos al azar. No puede garantizarse una buena operación si no existe un buen mantenimiento. Las áreas fundamentales que debe atacar un programa de mantenimiento son:

1. Limpieza periódica de los filtros.
2. Limpieza de goteros obstruidos o cambio si es el caso.
3. Purga de las líneas de distribución y eliminación de fugas y/o obstrucciones.

B I B L I O G R A F I A

- Manual de Riego por Aspersión.
C. I. D. I. A. T. Mérida - Venezuela - 1980
- KELLER, J. y KARMELI, D. *Trickle irrigation design.*
Rain Bird. U. S. A. 1975
- PENA, Efrén *Diseño hidráulico del proyecto de riego por goteo "Yahualica".* S. R. H.
México, D.F. 1971
- VILLAFANE, Roberto *Anteproyecto de riego por goteo en cítricos de la Estación Experimental "Ingeniero Agrónomo Miguel Luna Lugo" (Tarabana) Estado Lara.*
U. C. L. A. Barquisimeto, Venezuela 1981.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE AGRONOMIA

SEDE DE MEDELLIN

DISEÑO DE LATERALES PARA RIEGO POR GOTEO INCLUYENDO
LAS PERDIDAS CAUSADAS POR LOS EMISORES

Por:

Carlos Salazar M.

Allen Smajstrla

DISEÑO DE LATERALES PARA RIEGO POR GOTEO INCLUYENDO
LAS PERDIDAS CAUSADAS POR LOS EMISORES

Por:

Carlos Salazar M.*

Allen Smajstrla*

R E S U M E N

Un estudio experimental de laterales en riego por goteo y de los emisores fué realizado para estimar las características hidráulicas de los emisores y su funcionamiento. El coeficiente de variación de la descarga debido a la desuniformidad en la fabricación de los emisores, fué estimado probando un conjunto de emisores a presión constante. Cuatro presiones diferentes fueron usadas para cada tipo de emisor. Se encontró que los emisores de construcción simple presentaban la menor variación de dicho coeficiente, dentro del rango de presiones utilizadas. Emisores de construcción complicada, usualmente trabajando con flujo laminar, presentaban una mayor variación.

La relación entre la presión y la descarga, definida como la función de descarga del emisor, describe las características hidráulicas de cada emisor, su sensibilidad a las variaciones de presión y las condiciones de flujo a través del emisor. El emisor tipo Vortex presentó el menor exponente de la función de descarga del emisor, debido al flujo turbulento que se crea en su interior. Emisores con una trayectoria de flujo larga, y flujo laminar presentaron exponentes altos de la función de descarga.

*Graduate Research Assistant and Assistant Professor, respectively, Dept. of Agricultural Engineering, University of Florida, Gainesville, FL.

La pérdida total de fricción a través del lateral con los emisores conectados fué estudiado para estimar la magnitud de las pérdidas debidas únicamente a la conexión de los emisores. Laterales con diferente número de emisores fueron probados utilizando diferentes valores de descarga. La fricción causada por las conexiones fué calculada comparando las pérdidas por fricción totales entre repeticiones de laterales con diferentes número de emisores conectados.

La relación entre la fricción causada por el emisor y el caudal de entrada al lateral, definida como la función de fricción del emisor, fué usada para calcular la longitud equivalente, substituyendo dicha función en la ecuación de Hazen-Willians. Se encontró que el diámetro de la tubería y el intercepto de la función de fricción del emisor están correlacionadas exponencialmente.

Cuando un solo emisor es usado para calcular la fricción producida por dicho elemento, la variación en descarga entre emisores, la orientación del emisor al azar, y la inherente variabilidad de los emisores no son incluidos en los cálculos.

La uniformidad de descarga de los emisores es una función del máximo y mínimo caudal el cual es afectado por la fricción causada por el emisor, por consiguiente dicha fricción debe ser considerada cuando se desea una uniformidad de diseño alta.

INTRODUCCION

El riego por goteo se ha vuelto popular en respuesta al incremento de los costos de energía y al incremento de la demanda de agua para fines de riego. El riego por goteo reemplaza el uso de sistemas de alta presión, los cuales esparcen el agua a través del aire alcanzando grandes distancias, por el uso de tuberías plásticas de pequeño diámetro para aplicar el agua individualmente a cada planta o surco.

El sistema de laterales, principales y subprincipales es usualmente mucho más extenso y complejo que el de los sistemas convencionales. Para reducir los costos, tubería de diámetro pequeño es seleccionada en concordancia con las pérdidas permisibles para los caudales que han de ser transportados.

Debido a que el riego por goteo es capaz de aplicar agua con la precisión y cantidad requerida por la planta, es crítico que todos los elementos emisores apliquen la misma cantidad dentro de los límites económicamente prácticos. Siguiendo los métodos establecidos para riego por aspersión el riego por goteo es comunmente diseñado para que la máxima variación en caudal entre los emisores no exceda el 10% del caudal promedio. En razón de las bajas presiones de operación solo pequeñas variaciones en presión pueden ser permitidas para cumplir con el criterio de una máxima variación del caudal del 10%.

4. Evaluar si el concepto de longitud equivalente puede ser usado adecuadamente para calcular las pérdidas producidas por la conexión del emisor en el lateral.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Cuatro diferentes tipos de emisores comunmente usados en el estado de la Florida (U.S.A.) fueron seleccionados para este estudio. Dichos emisores fueron:

1. Spot System Inc. Vortex Type, model 3001-1, Black color.
2. Rain Bird. Labyrinth long path type, model EM-J10.
3. Drip-Eze System. Spiral long path type, underground emitter.
4. Microjet Inc. Microjet orifice type emitter, green base.

Para medir exactamente la magnitud de las pérdidas por fricción y las ratas de flujo requeridas en este trabajo, un sistema experimental fué montado en el laboratorio. Agua de las fuentes comunes del acueducto municipal a una temperatura promedio de 25°C y a una presión máxima de 42.3 m. (60 PSI), fue utilizada

Las instalaciones consistieron de dos componentes requeridos para evaluar cada una de las partes planteadas en los objetivos. Las características hidráulicas de los elementos emisores fueron evaluadas usando una lámina corrugada de aluminio sobre la cual fue colocado un tubo de 26 mm de diámetro de tubería flexible (PE). 14 emisores podían ser evaluados simultáneamente y debido a que los emisores estaban tan cerca uno del otro en una longitud relativamente corta de tubería, todos los

emisores estaban sujetos a una misma presión. Tres grupos de 14 emisores cada uno para un total de 42, fueron evaluados bajo 4 presiones diferentes.

El flujo de los emisores fué medido recolectando el volumen de agua emitido en un intervalo constante de tiempo. Los cilindros graduados utilizados para medir el volumen de agua emitido fueron montados sobre un soporte movable de suerte que todos los cilindros podían ser movidos al mismo tiempo (veáse figura 1).

En la segunda parte del experimento diseñada para medir las pérdidas por fricción debidas a la tubería y a los emisores, un soporte metálico fué construído y usado para suspender una cierta sección del lateral. Debajo de este soporte fué colocada una canaleta rectangular para coleccionar el flujo proveniente de los emisores. A la entrada del lateral una válvula reguladora de flujo, un filtro de papel (especial para riego por goteo), un regulador de presión y un manómetro fueron utilizados como cabeza de control.

A la salida del lateral se colocaron válvulas reguladoras de flujo. Dichas válvulas fueron previamente calibradas colectando los volúmenes de agua emitidos en un cilindro graduado de 20 cm. de diámetro y 2 m. de altura. Veáse figura 2.

A la entrada y salida del lateral fueron colocadas las conexiones de alta y baja presión del manómetro de mercurio utilizado para medir las pérdidas de presión.

Inicialmente las pérdidas por fricción en laterales sin emisores fue medida como función del caudal. Posteriormente los emisores fueron instalados en el lateral y nuevamente las pérdidas de fricción fueron medidas.

La presión absoluta a la entrada del lateral y la diferencia de presión entre la entrada y salida del lateral fueron medidas por medio de un manómetro de mercurio de presión absoluta y con un manómetro diferencial.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Las características hidráulicas de los emisores fueron evaluadas midiendo el caudal a 4 diferentes presiones, desde 7.1 m hasta 21.2 m.

La ecuación de la forma: $Q = K_d P^x$ (1)

Donde: Q = Caudal del emisor (l/s),

P = Presión de trabajo del emisor (m),

K_d = Coeficiente de descarga del emisor, y

x = Exponente de la función de descarga del emisor

Dicha ecuación fue fijada a los datos de cada tipo de emisor.

Los valores de K_d y x , fueron evaluados para cada tipo de emisor.

El coeficiente de variación del flujo para cada emisor y a cada presión fue determinado. Para analizar los efectos de fricción debidos a la conexión de los emisores, la pérdida por fricción en el lateral sin emisores conectados expresados como una función fueron inicialmente evaluados. Las pérdidas de fricción fueron medidas como una función del caudal para cada uno de los tres diferentes diámetros de tubería utilizados. Esas funciones fueron de la forma:

$$FR = K_1 Q^{m_x} \quad (2)$$

Donde: FR = Pérdida por fricción medida en el lateral (m),

K_1 = Coeficiente de pérdidas por fricción,

Q = Caudal a la entrada del lateral (l/s), y

m_x = Exponente de las pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción fueron también medidas como una función del caudal para los laterales con emisores conectados. Estos datos fueron luego fijados a una ecuación de la forma de la ecuación (2). El caudal a la entrada del lateral fue calculado a partir del caudal de salida más el caudal promedio de los emisores por el número de emisores. El caudal promedio por emisor fue obtenido en base a las características hidráulicas del emisor previamente determinadas, usando la presión media del lateral. Véase tabla (2).

Las pérdidas debidas a las conexiones de los emisores fueron calculadas para los emisores: Spot-Vortex, Rain-Bird, y Drip-eze, substrayendo las pérdidas por fricción para el lateral sin emisores de las pérdidas para el lateral con emisores y dividiendo por el número de emisores. Este procedimiento probó ser satisfactorio debido a que los caudales de esos emisores eran insignificantes con respecto al caudal del lateral.

Las pérdidas debidas a la conexión de los emisores en el caso de Microjet requirió un método más complejo a causa de que el caudal del emisor era bastante significativo con respecto al caudal del lateral. El lateral fue analizado considerando la divergencia de caudales a lo largo del lateral. Para evaluar la magnitud de los caudales a lo largo del lateral, la distribución de la presión fue medida.

Experimentalmente se encontró que la distribución de la presión era logarítmica (para la sección del lateral en estudio). Por consiguiente en base a la presión medida a la entrada y salida del lateral, las presiones en puntos intermedios fueron calculadas. Estas presiones fueron utilizadas para calcular el flujo de los emisores. Finalmente empezando a la salida del lateral, el caudal para cada sección fué calculado en base al caudal de salida y al caudal del emisor.

Las pérdidas por fricción en cada sección del lateral fué calculada en base a la función determinada para las pérdidas en el lateral (ecuación (2)). La fricción total en el lateral fué computada como la suma de las pérdidas en cada sección. La componente debida a la conexión de los emisores fué calculada tomando la diferencia entre la fricción total medida y la calculada para el lateral sin emisores. La relación logarítmica entre la pérdida por fricción promedio causada por los emisores y el caudal del lateral se muestra en las figuras 4 a 7.

En razón de que las pérdidas por fricción fueron consideradas como una función de la velocidad antes del emisor, la componente de la fricción debida a dicha conexión no era divisible por el número de los emisores para obtener la pérdida promedio. En lugar de ello los datos fueron fijados a la ecuación de la forma:

$$TEFL = K2 \sum_{i=1}^{Ne} Q_i^c \quad (3)$$

Donde: TEFL = Fricción total medida en el lateral (m),

Q_i = Caudal antes de cada emisor, (l/s),

N_e = Número de emisores, y

$K2$ = Constante de proporcionalidad

Un programa estadístico fué utilizado para obtener la mejor curva o los valores óptimos de c y K_2 , para varios grupos de datos. La pérdida por fricción debida a un sólo emisor fué calculada de la ecuación:

$$EFL = K_2 Q^c \quad (4)$$

Donde: EFL = fricción causada por un emisor (m), y los demás valores como están descritos anteriormente.

Para facilitar el diseño de sistemas de riego incluyendo las pérdidas debidas a los emisores, el concepto de longitud equivalente fue usado. La longitud equivalente de los emisores fué calculada utilizando la ecuación de Hazen-Willians:

$$\Delta H_l = 1.21 \times 10^{10} L (Q/C)^{1.852} D^{-4.87} \quad (5)$$

Donde: ΔH_l = Fricción total (m),

L = Longitud del lateral (m),

C = Coeficiente de fricción de la tubería,

D = Diámetro de la tubería (mm), y

Q = Caudal del lateral (l/s)

La ecuación (5) fué reescrita en términos de las pérdidas debidas a los emisores y de la longitud equivalente, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$LE = K_3 EFL D^{4.87} Q^{-1.852} \quad (6)$$

Donde: $K_3 = 7.8 \times 10^{-7}$ para $C = 140$, los otros valores como han sido anteriormente descritos. Finalmente, reemplazando la ecuación (4) en la (6) resulta la ecuación utilizada para calcular la longitud

DISEÑO DE LATERALES EN SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO

El diseño de laterales incluyendo las pérdidas debidas a los emisores pueden ser alcanzada modificando la ecuación de Hazen-Williams (Karmeli and Keller, 1975)

$$\Delta H_L = 1.21 \times 10^{10} L' F (Q/C)^{1.352} D^{-4.87} \quad (3)$$

$$L' = L + N_e L_E \text{ (m)} \quad (9)$$

Donde: N_e = Número de emisores por lateral,

L' = Longitud total equivalente (m), los demás factores como han sido descritos anteriormente.

En razón de que la longitud equivalente no es constante, el valor promedio de dicha longitud debe ser calculado. Un valor medio es difícil de calcular, pero el valor total de la longitud equivalente para un cierto número de emisores igualmente espaciados y descargando igual caudal puede calcularse utilizando el mismo método seguido por Christiansen(1942), para evaluar el coeficiente de reducción, F .

La Fricción producida por la conexión del último emisor se puede expresar como una función del caudal:

$$EFL1 = K1 Q1^c \quad (10)$$

Para el penúltimo emisor se tiene:

$$EFI2 = K1 (2Q1)^c \quad (11)$$

equivalente para cada tipo de emisor y cada diámetro de tubería:

$$LE = K_2 K_3 D^{4.87} Q^{c-1.852} = K_4 Q^M \quad (7)$$

Donde: $K_4 = K_2 \cdot K_3 \cdot D^{4.87}$

$M = c - 1.852$, los otros valores como han sido descritos.

RESULTADOS Y DISCUSION

La relación entre la presión y el caudal para cada uno de los tipos de emisores estudiados se muestran en la gráfica logarítmica de la figura 3. Microjet es un emisor tipo orificio, con el exponente de la función de descarga aproximadamente igual a 0.5. El Spot-Vortex es un emisor compensador de presión como lo muestra su exponente de descarga de 0.35. El Drip-Eze y Rain Bird emisores son ambos del tipo de larga trayectoria de flujo, con exponentes de 0.69 y 0.64 respectivamente.

Un resumen de las características hidráulicas de los emisores estudiados se presentan en la tabla 1. En adición a la ecuación expresando la función del caudal promedio del emisor, el coeficiente de variación de cada tipo de emisor es también presentado en dicha tabla. Estos datos son requeridos para estimar la uniformidad de aplicación de cada tipo de emisor cuando son seleccionados al azar para el diseño de sistemas de riego por goteo.

Las funciones de longitud equivalente calculadas se muestran en la tabla 3, y están representadas gráficamente en las figuras 4 a 7. Con excepción del emisor Microjet, la longitud equivalente no fué constante, dicha longitud incrementó con la rata de flujo.

Para el enésimo emisor se tiene:

$$EFL_n = K_1 (Q_1)^c \quad (12)$$

La pérdida total producida por los emisores es:

$$EFL = \sum K_1 (Q_1)^c = K_1 Q_1^c N^c \quad (13)$$

En base a la asunción de la descarga uniforme se tiene:

$$Q = N Q_1 \quad \text{ó} \quad Q_1 = Q/N$$

Reemplazando Q_1 en la ecuación (13) se tiene:

$$EFL = K_1 Q^c \frac{N^c}{N^c} \quad (14)$$

$$TEFL = K_1 Q^c F' \quad (15)$$

Donde: $F' = N^c/N^c$,

$TEFL =$ Fricción total producida por los emisores

Por consiguiente para calcular las pérdidas producidas por los emisores, basta con calcular la pérdida producidas por el primer emisor en base al caudal de entrada y multiplicar este valor por el coeficiente F' . En forma similar se puede obtener la función de longitud equivalente:

$$LE = K_3 TEFL D^{4.37} Q^{-1.352} \quad (16)$$

De donde:

$$TLE = K_3 D^{4.37} Q^{1.352} Q^c F' = K_4 Q^M F' \quad (17)$$

Donde: $M = c - 1.352$,

$TLE =$ Longitud equivalente para la totalidad de los emisores (m), y

F' = Factor de ajuste de las pérdidas producidas por la conexión de los emisores.

F' puede ser calculado aproximadamente por la ecuación:

$$F' = \frac{N}{c + 1} + \frac{1}{2} + \frac{c}{12N} \quad (18)$$

esta ecuación es exacta si solo se consideran los dos primeros términos.

UNIFORMIDAD DE APLICACION EN SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO

La importancia relativa de las pérdidas por fricción debidas a la conexión de los emisores puede ser evaluada calculando los efectos de este parámetro en la uniformidad de aplicación del sistema. El coeficiente de uniformidad absoluta fué definido por Karmeli y Keller, (1975) como:

$$EUa = 100 \left(1.0 - \frac{1.27 V}{e} \right) \cdot \frac{1}{2} (Qn/Qa + Qa/Qx) \quad (19)$$

Donde: EUa = Coeficiente de uniformidad absoluta (%),

e = # de emisores por planta,

V = Coeficiente de variación del emisor,

Qn = Caudal mínimo,

Qa = Caudal promedio, y

Qx = Caudal máximo

El coeficiente de emisión uniforme, EU, fue definido como:

$$EU = 100 \left(1.0 - \frac{1.27 V}{e} \right) Qn/Qa \quad (20)$$

El radio máximo y mínimo de caudal fueron definidos como:

$$Q_n/Q_a = 100 - (0.22 \times \frac{A_{ll}}{l_a}) \quad (21)$$

$$Q_x/Q_a = 100 + (0.53 \times \frac{A_{ll}}{l_a}) \quad (22)$$

Donde: A_{ll} = Pérdidas por fricción en el lateral (m),

l_a = Presión promedio en el lateral (m), los otros factores han sido definidos.

El efecto de las pérdidas causadas por la conexión de los emisores sobre el E_Ua y E_U para todos los tipos de emisores utilizados se presentan en la tabla 4. Inicialmente el valor de A_{ll}/l_a requerido para obtener un E_U del 90% para el caso en que no se considera la pérdida producida por los emisores, fue estimado. Varios valores de E_Ua y E_U para un rango de valores de L_e/L_s fueron calculados.

De la tabla 4., la importancia de considerar L_e/L_s es esencialmente una función del coeficiente de variación del emisor. El coeficiente de uniformidad cambió muy poco para el emisor Rain Bird el cual tiene un coeficiente de variación $V = 0.074$. El coeficiente de uniformidad cambió aproximadamente el 3% para el emisor Microjet. Los emisores Drip-Eze y Spot-Vortex con coeficientes de variación similares también presentaron valores similares del coeficiente de uniformidad.

De los datos obtenidos se puede concluir que sistemas que utilizan emisores con coeficientes de variación bajos necesitan la inclusión de las pérdidas causadas por los emisores en el diseño de laterales en riego

por goteo. Los emisores con coeficientes de variación altos no se ven afectados por el hecho de no incluir las pérdidas causadas por los emisores, debido a que el coeficiente de variación es el factor dominante en el diseño.

RESUMEN

Un estudio de las pérdidas por fricción expresadas como una función del caudal y del diámetro de la tubería, fue conducido con el fin de determinar el efecto relativo de tales parámetros en el diseño de sistemas de riego por goteo. Las características hidráulicas de los emisores, las pérdidas por fricción en el lateral y la fricción en el lateral con emisores conectados fueron medidas.

La longitud equivalente y las pérdidas por fricción causadas por la conexión de los emisores expresadas como una función del caudal, fueron calculadas para cuatro tipos diferentes de emisores y tres diámetros de tubería. Se encontró que los coeficientes de uniformidad son relativamente insensibles a las pérdidas de fricción causadas por los emisores cuando los coeficientes de variación son grandes. Por lo contrario cuando los coeficientes de variación son pequeños las pérdidas causadas por la conexión de los emisores debe ser considerada en el diseño. La presentación de las pérdidas causadas por los emisores como una función del caudal, ofrece una solución práctica y general que el método basado en un valor único de la longitud equivalente.

TABLA 1. Parámetros hidráulicos de los emisores

Parámetros estadísticos	CAUDAL (l/s)							
	TIPO DE EMISOR							
	SPOT VORTEX				RAIN BIRD			
	Presión, m				Presión, m			
	7.05	10.58	14.11	17.63	7.05	10.58	14.11	17.63
Media	3.62	4.20	4.64	4.99	2.53	3.17	3.85	4.49
Desviación Std.	0.170	0.212	0.254	0.205	0.216	0.227	0.242	0.337
Coef. de Var., V	0.047	0.050	0.055	0.041	0.036	0.072	0.063	0.075
	$Q = 5.62 \times 10^{-4} p^{0.351}$				$Q = 2.02 \times 10^{-4} p^{0.641}$			
	MICROJET				DRIP EZE			
	10.58	14.11	17.63	21.17	10.58	14.11	17.63	21.17
Media	55.33	63.31	70.64	76.99	4.19	5.14	5.99	6.73
Desviación Std.	0.935	1.306	1.139	1.575	0.204	0.314	0.295	0.322
Coef. de Var., V	0.017	0.021	0.016	0.020	0.049	0.061	0.049	0.048
	$Q = 5.27 \times 10^{-3} p^{0.478}$				$Q = 2.20 \times 10^{-4} p^{0.694}$			

TABLA 3. Longitud equivalente de los emisores para tres diferentes diámetros de tubería

$$\text{LONGITUD EQUIVALENTE (m), } LE = K_4 Q^M$$

PARAMETROS	TIPO DE EMISOR					
	SPOT VORTEX			RAIN BIRD		
	Diámetro			Diámetro		
	16.1 mm	20.92 mm	26.64 mm	16.1 mm	20.92 mm	26.64 mm
Intercepto K_4	0.5460	0.4923	0.3586	0.5160	0.4170	0.3189
Pendiente M	1.123	1.172	1.172	0.388	0.853	0.309
PARAMETROS	MICROJET			DRIP EZE		
	Diámetro			Diámetro		
	16.1 mm	20.92 mm	26.64 mm	16.1 mm	20.92 mm	26.64 mm
Intercepto K_4	0.3536	2.6372	0.3327	0.5779	0.7110	0.3027
Pendiente M	-0.0250	0.1480	-0.2090	0.957	1.646	1.196

TABLA 4. Variación del coeficiente de emisión uniforme del sistema como una función de la relación longitud equivalente sobre espaciamiento.

Emisor	LF/LS	AH1/Ha	Qn/Qa	Qa/Qx	EU(%)	EU _a (%)
Rain Bird	0.0	.047	.993	.983	90.0	89.5
X = 0.64	0.1	.052	.993	.981	89.9	89.4
V = 0.074	0.2	.056	.992	.980	89.9	89.3
	0.3	.061	.991	.978	89.8	89.2
	0.5	.071	.990	.974	89.7	88.3
	1.0	.094	.987	.966	89.4	88.4
Microjet	0.0	.751	.921	.373	90.0	35.4
X = .48	0.1	.826	.913	.314	89.2	34.4
V = 0.013	0.2	.901	.905	.300	88.4	33.3
	0.3	.976	.897	.287	87.7	32.3
	0.5	1.126	.882	.262	86.1	30.3
	1.0	1.502	.842	.206	82.3	25.6
Drip Eze	0.0	.267	.959	.903	90.0	87.3
X = 0.69	0.1	.294	.955	.895	89.6	86.8
V = 0.049	0.2	.320	.951	.887	89.2	86.2
	0.3	.347	.947	.873	88.9	85.6
	0.5	.400	.939	.862	88.1	84.5
	1.0	.534	.919	.824	86.2	81.7
Spot Vortex	0.0	.539	.953	.901	90.0	87.3
X = 0.35	0.1	.593	.954	.893	89.6	86.7
V = 0.043	0.2	.647	.950	.884	89.2	86.1
	0.3	.701	.946	.875	88.8	85.5
	0.5	.809	.933	.859	88.1	84.4
	1.0	1.079	.917	.820	86.1	81.6

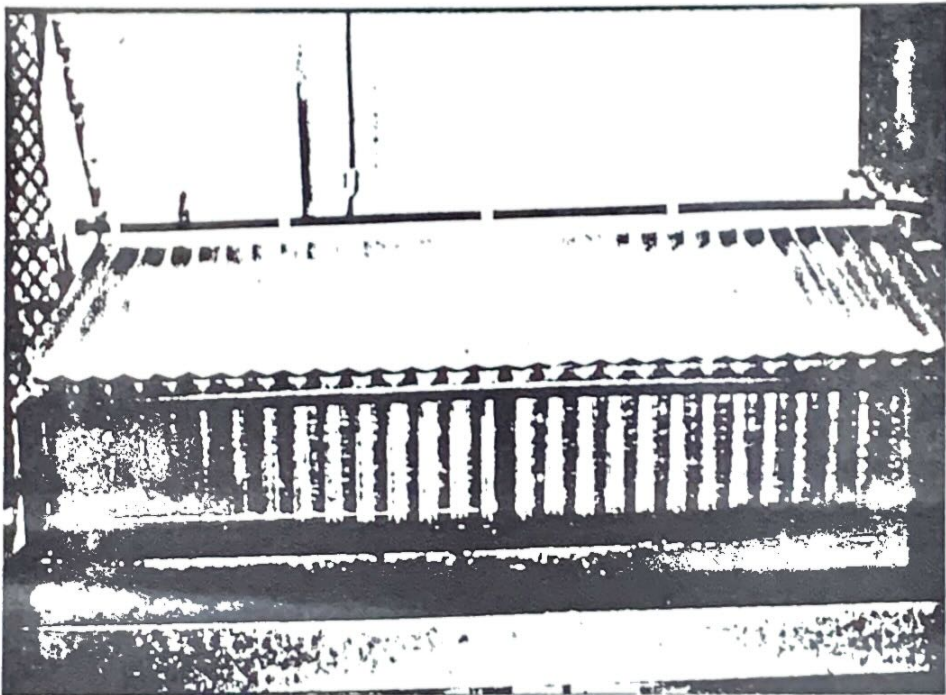


Fig. 1. Montaje utilizado para medir simultáneamente el caudal de varios emisores a la misma presión.

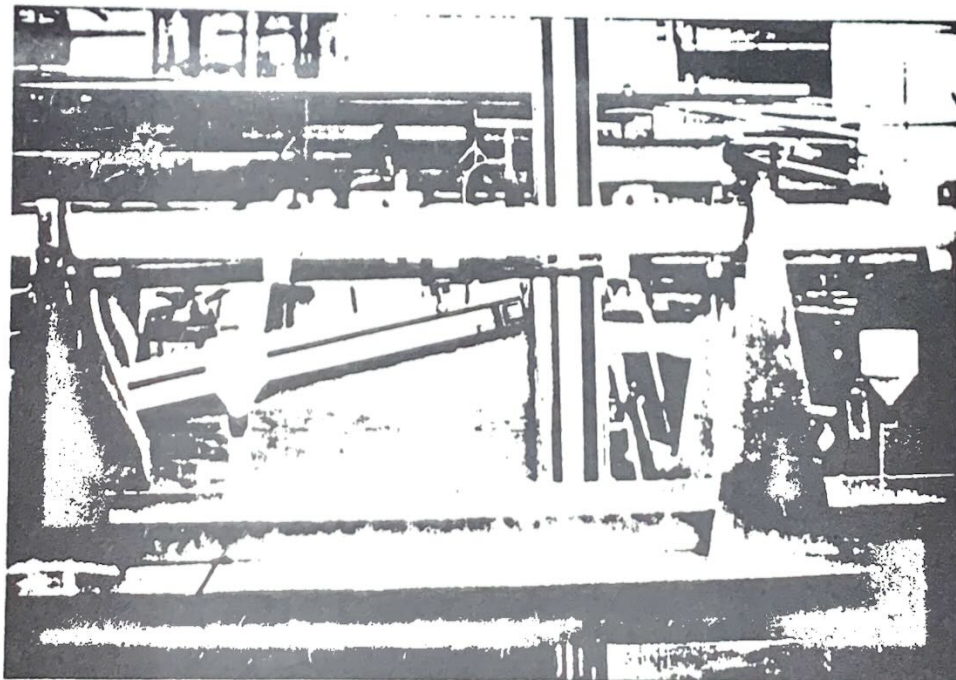


Fig. 2. Vista lateral y frontal del sistema utilizado para medir las pérdidas por fricción en el lateral.

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LOS EMISORES

Spot Vortex: $Q = 5.62 \times 10^{-4}(p)^{0.3511}$ 1/S

Microjet: $Q = 5.27 \times 10^{-3}(p)^{0.478}$ 1/S

Rain Bird: $Q = 2.02 \times 10^{-4}(p)^{0.641}$ 1/S

Drip Eze: $Q = 2.21 \times 10^{-4}(p)^{0.694}$ 1/S

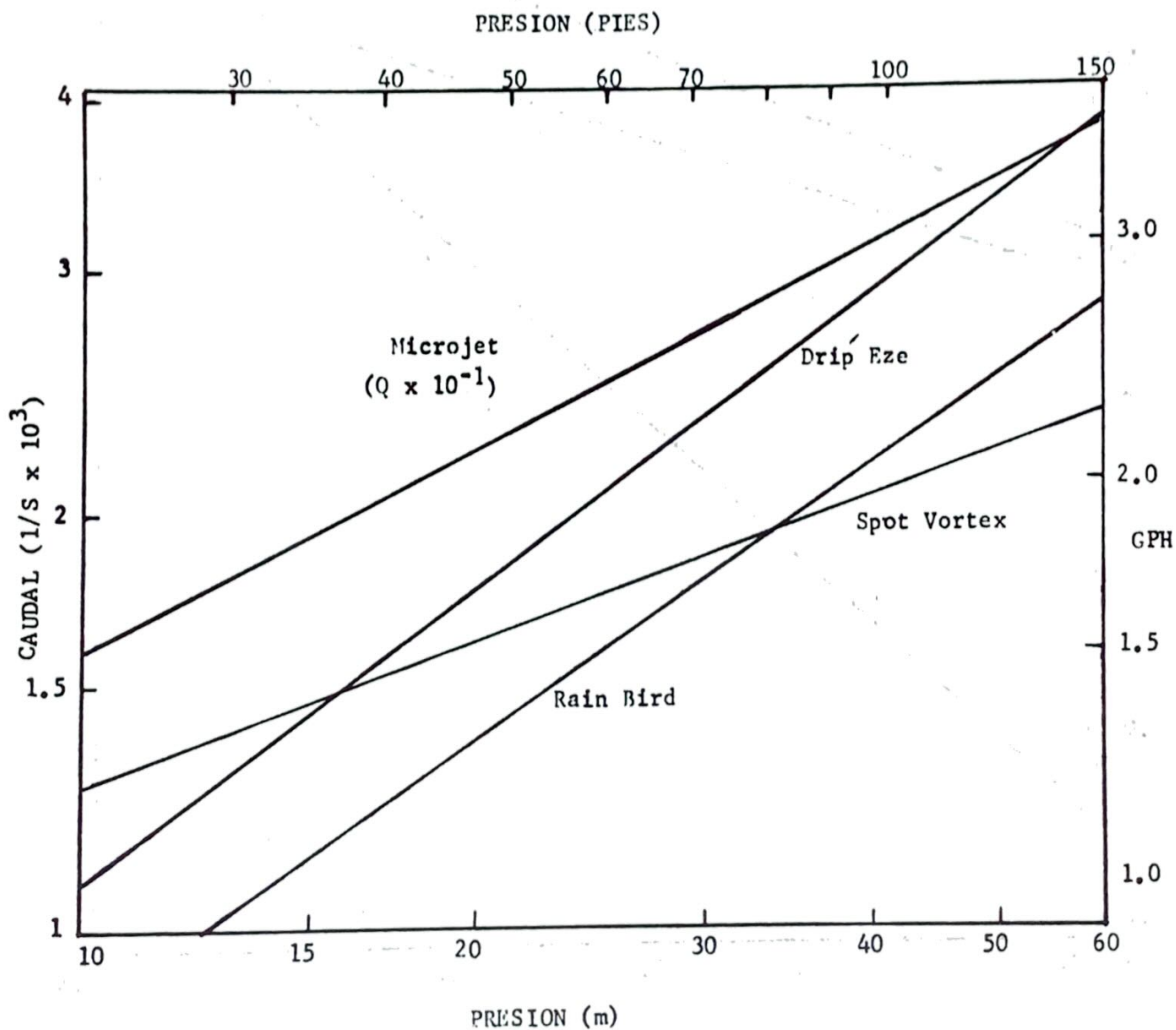


Fig. 3. Características hidráulicas de los emisores.

FUNCION DE LONGITUD EQUIVALENTE

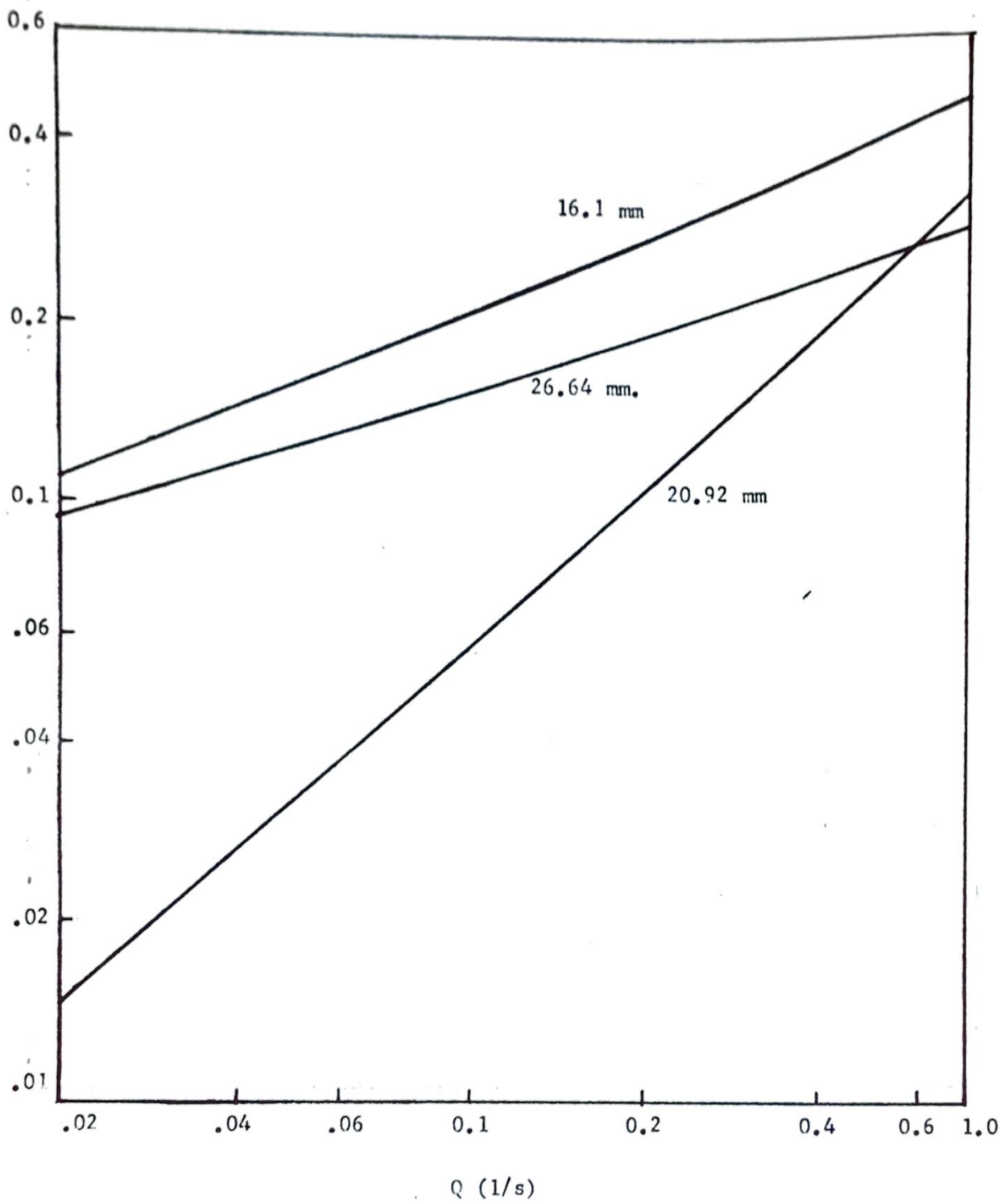


Fig. 4. Función de longitud equivalente para el emisor Rain Bird

FUNCION DE LONGITUD EQUIVALENTE

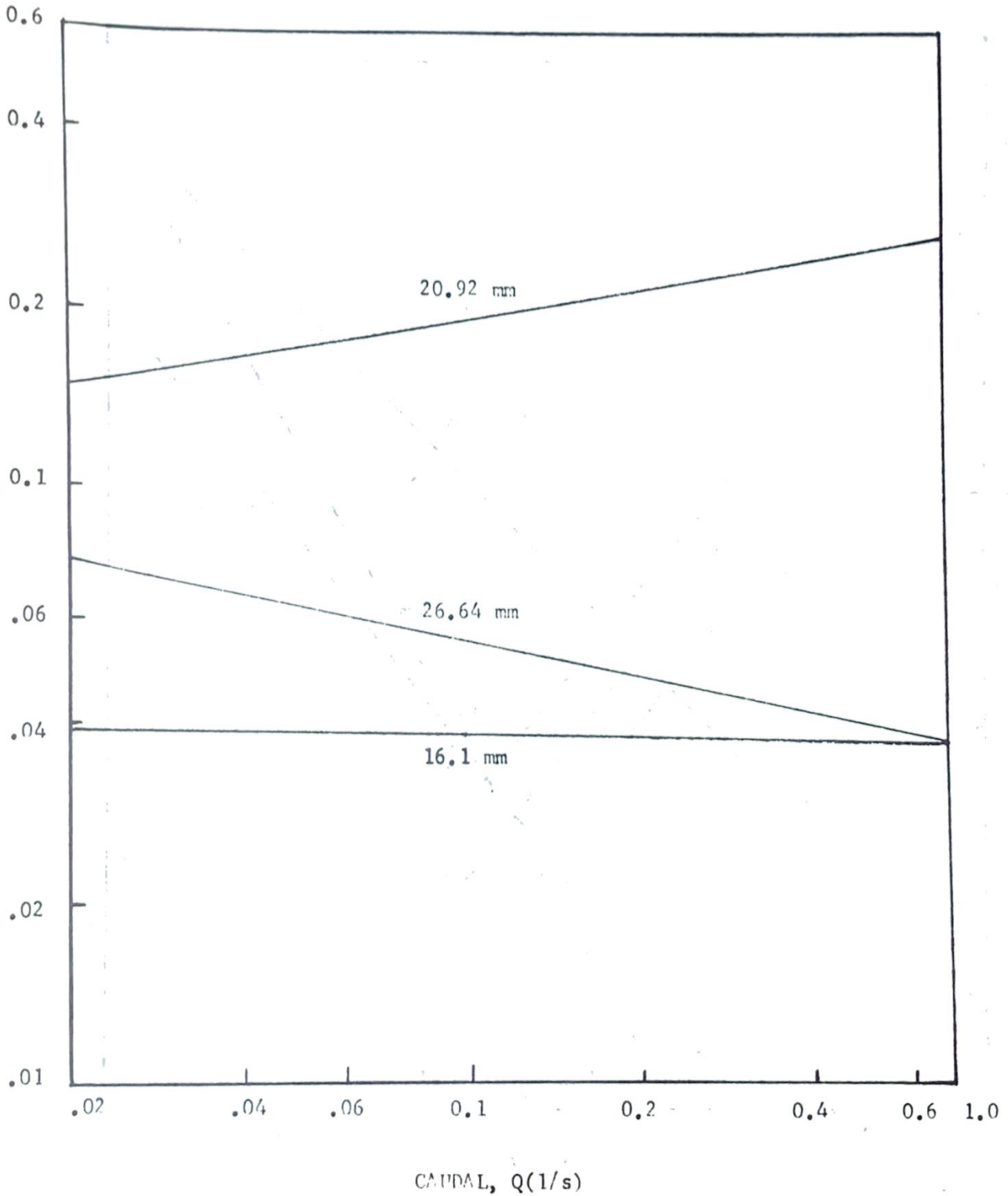


Fig. 5. Función de longitud equivalente para el emisor Microjet.

FUNCION DE LONGITUD EQUIVALENTE

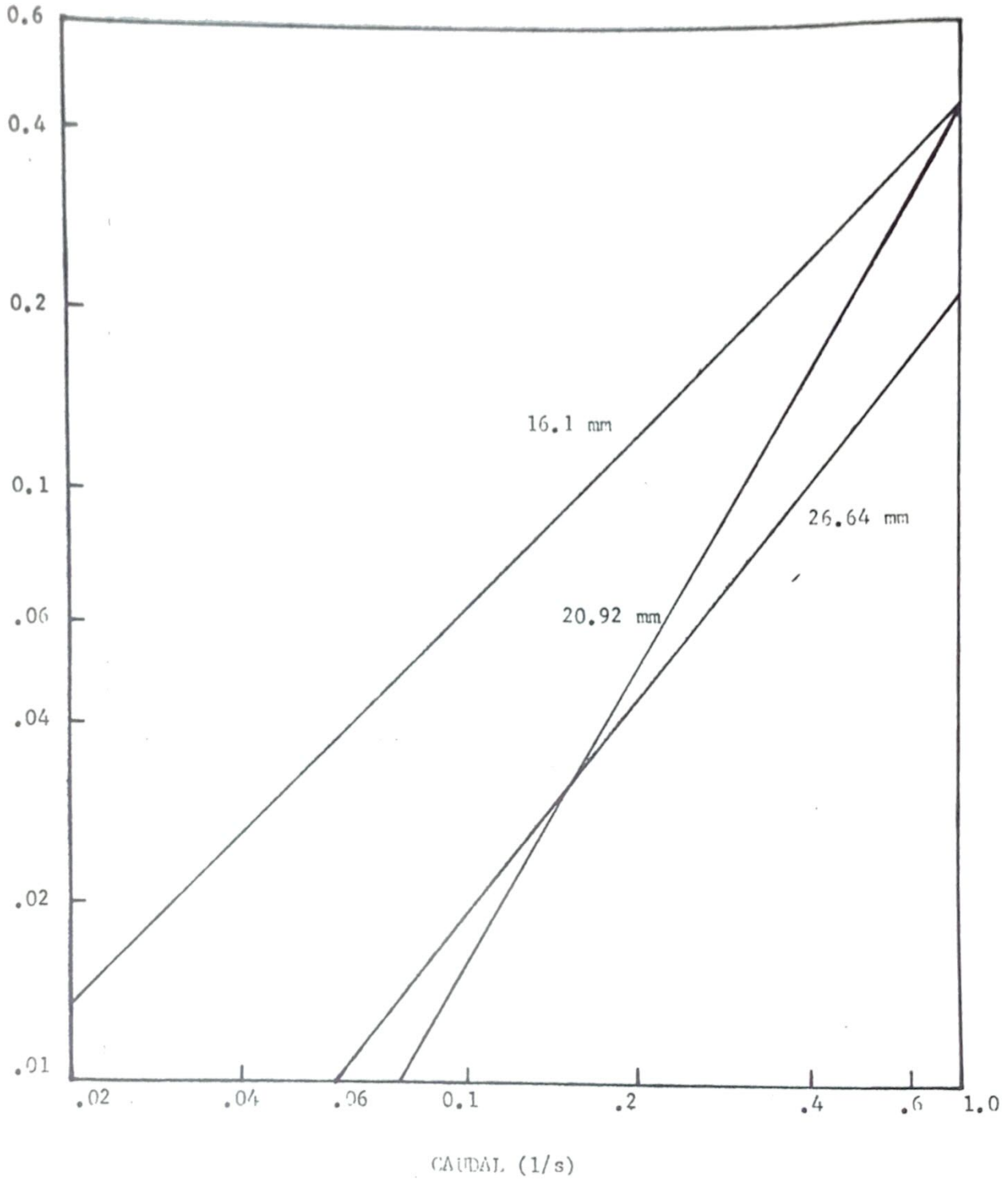


Fig. 6. Función de longitud equivalente para el emisor Drip Eze.

FUNCION DE LONGITUD EQUIVALENTE

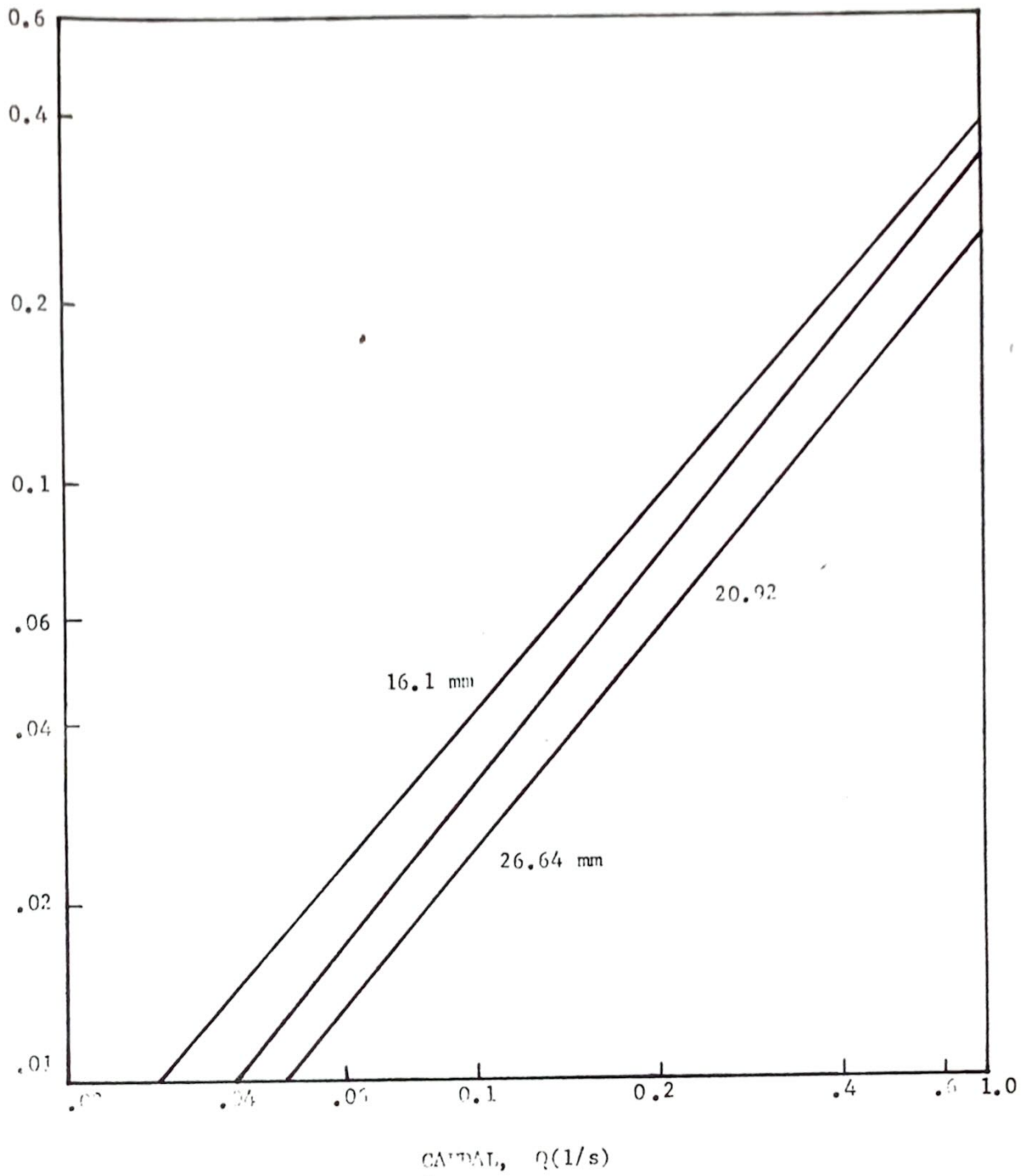


Fig. 7. Función de longitud equivalente para el emisor Spot Vortex

CARACTERIZACIÓN HIDRAULICA DE UNA TUBERIA DE POLIETILINO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD Y 13 mm DE DIAMETRO INTERNO USADA COMO TUBERIA LATERAL EN RIEGO POR GOTEO

Ing. Maximiliano Valbuena*

1. INTRODUCCION

Todo sistema de riego tiene como función suministrarle a las plantas el agua necesaria para obtener una alta producción, los sistemas de riego modernos además de cumplir con esta función deben tener una alta eficiencia de aplicación y uniformidad, en el sistema de riego se debe a la variación de presión en sus tuberías producidas por las pérdidas de fricción, conexiones de los goteros, diferencias topográficas, etc. por lo que el conocimiento del comportamiento hidráulico de las tuberías usadas en este método de riego podría mejorar la eficiencia y uniformidad al mejorar la información básica para el diseño.

El objetivo principal de este trabajo es caracterizar algunos parametros hidráulicos de las tuberías de polietileno de pequeño diámetro (13 mm) y el efecto producido por los goteros de pua en la tubería en las condiciones de campo de los alrededores de Maracaibo con miras de mejorar el diseño de las tuberías laterales usadas en la zona.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

Darcy-Weisbach determinaron la ecuación fundamental para determinar las pérdidas de cargo por fricción

$$HF = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Donde: L es la longitud, D el diámetro, V la velocidad, g la gravedad y F es el factor de fricción que depende del número de Reynolds y de la rugosidad relativa.

Nikumadse graficó el número de Reynolds Vs Factor de fricción variando la rugosidad relativa de tuberías supuestas; Moody (1944) realizó un trabajo similar pero usando tuberías comerciales, obteniendo lo que hoy se conoce como el Diagrama de Moody.

Morris y Wiggent (1972), Urbina (1977) encontraron que las tuberías de polietileno tienen una rugosidad menor que las tuberías consideradas hidráulicamente lisas por Nikumadse.

Keller y Karmeli (1975) proponen la ecuación de Hasen-Williams para determinar las pérdidas de carga por fricción en las tuberías de polietileno de pequeño diámetro con una $C = 150$

$$HF = 1.21 \times 10^{-2} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.825} D^{-4.87} \times L$$

Christiansen (1942) dedujo un parámetro teórico que permite calcular las pérdidas de por fricción para un conducto de salidas múltiples, a partir del número de salidas (H), el exponente (M) de la velocidad y las pérdidas de carga (HF) de la tubería como si fuese de una sola salida.

$$HF_{sm} = F \times HF$$

Hanson (1973) citado por Urbina (1977) encontró el coeficiente C de la ecuación de Hasen-Williams varía entre 98 y 136 cuando la tubería tiene conectados goteros.

Urbina J.L. (1977) determinó que la longitud equivalente por unidad de longitud producida por las conexiones de los goteros es directamente proporcional al tamaño de la púa es inversamente proporcional al espaciamiento entre los goteros.

3. MATERIALES Y EQUIPOS

- Usados en la determinación de las características hidráulicas de las tuberías de polietileno negro de mediana densidad de 16 mm de diámetro externo y 13 mm de diámetro interno.
- Equipo topográfico para la nivelación del plano de referencia
- Bomba centrífuga y tanque de almacenamiento
- Tres tuberías de polietileno de 110 mts de longitud
- 100 goteros de salidas múltiples
- 2 piezómetros abiertos de 15 y 14 mts.
- 2 manómetros graduales de 100 Psi y 0.5 Psi de sensibilidad
- Cronómetro
- Envase de 18.5 lts, 1 lt. y probetas graduadas
- 200 microtubos de 10 cm.
- Termómetro (0 - 100) °C
- Lijera montadora de goteros
- Vernier
- 20 estacas de 1.5 mts.
- 150 mts de alambre No. 18 para indicar el plano de referencia
- Válvula macrométrica
- Válvula micrométrica

Las pruebas fueron realizadas en las parcelas de la granja experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, en condiciones similares a las condiciones de trabajo de los sistemas de riego por goteo de la zona.

4. METODOLOGIA

Para la determinación de las características hidráulicas de las tuberías de polietileno negro de mediana densidad de 16 mm de diámetro externo y 13 mm de diámetro interno.

Se procedió a estaquear 110 mts con estacas cada 5 mts. que luego se levantaron altimétricamente y se marcó una línea base, sin pendiente por donde pasaba un alambre tensado No. 18, escogiendo un tramo de 100 mts. se levantó en cada extremo una torre con un piezómetro abierto (trabajando con agua y una sensibilidad al milímetro) entre los cuales se colocó la tubería, soportada por el alambre; conectada a la bomba (ver fig. 1) y en las cuales se tomaron observaciones para las siguientes condiciones.

4.1 En la tubería normal

Se procedió a controlar la presión de entrada a la tubería (de 1 a 15 mts.) y se medía el caudal en forma volumétrica en otro extremo, tomando 3 repeticiones de caudales para cada presión.

4.2 En la tubería con goteros sin salidas

A la misma tubería anterior se le colocaron 10 goteros de conexión con estrías (ver fig. 2), separados equidistantemente, a todos los goteros se les impidió la salida de agua con unos microtubos tapados y se procedió a variar las presiones de entrada en la tubería y a medir los caudales en el otro extremo. El mismo procedimiento se empleó usando 20, 40 y 80 goteros instalados.

4.3 En la tubería con goteros y salida de agua por los goteros

A los 10 goteros colocados en la tubería anterior se les permitió la salida de agua y al extremo final de la tubería se conectó el piezómetro final, se tomaban caudales con tres repeticiones en algunos de los goteros y se medía la presión en el piezómetro de entrada y al final. El mismo procedimiento se empleó para 20, 40 y 80 goteros instalados.

En todos los experimentos se medía la temperatura del agua al entrar y salir de la tubería así como la del medio ambiente.

5. ANALISIS DE LA INFORMACION

5.1 En la tubería normal

A los datos obtenidos de pérdida de carga y caudal, se le aplicaron las siguientes ecuaciones.

- La ecuación de Scobey, que en unidades métricas se expresa:

$$H_f = \frac{K.L.V^{1.9}}{384,64 \times d^{11}}$$

donde:

H_f = pérdida de carga en mts.

L = longitud de la tubería en mts.

V = Velocidad en mts/seg.

d = diámetro en mt.

K = Coeficiente que depende de las características de las paredes de la tubería y el diámetro.

Procediéndose a determinar el coeficiente K , donde:

$$K = \frac{384,64 H_f d^{11}}{L.V^{1.9}}$$

Al conjunto de K obtenidos se le consiguió su media y el rango de variación

$$\bar{K} = \frac{\sum K}{n}$$

- La ecuación de Hazen-Williams, que en unidades métricas se expresa:

$$HF = 10.65 \frac{L}{c^{1.851}} \frac{Q^{1.852}}{d^{4.869}}$$

donde:

HF = es la pérdida de cargas en mts.

L = Longitud de la tubería en mts.

Q = Caudal que circula para la tubería en m³/seg.

d = diámetro de la tubería en mts.

c = coeficiente empírico que depende de las características del material de la tubería.

Se determinó el coeficiente c, donde:

$$c = \frac{10.65 \times L \times Q^{1.852}}{H_f \times d^{4.869}} \quad 0,5402$$

Al conjunto de C obtenidos se le consiguió su media y rango de variación.

$$\bar{C} = \frac{C}{n}$$

- La ecuación de Darcy - Weisbach, que en unidades métricas se

expresa así:

$$H_f = f \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

donde

HF = Es la pérdida de carga en mts.

L = Longitud de la tubería en mts.

V = Velocidad en metros por segundo

d = Diámetro interno de la tubería en mts.

g = fuerza de gravedad en mts/seg.²
 f = Factor de fricción que depende de la velocidad del fluido, viscosidad cinemática, la rugosidad relativa y se obtiene en el Diagrama de Moody y se determinó por la siguiente ecuación

$$f = \frac{2 HF d g}{v^2}$$

Una vez obtenido f se calcula el número de Reynolds (R)

$$R = V \cdot d$$

V = Es la velocidad del agua

ν = Viscosidad cinemática que se obtiene con la temperatura del líquido

Una vez obtenido todos los F y los números de Reynold se procedió a plantear estos en el Diagrama de Moody y se determinó la rugosidad relativa.

Rugosidad relativa (ϵ/d) y el comportamiento de la tubería en Diagrama.

donde: ϵ es la rugosidad absoluta

d = El diametro de la tubería

Con la rugosidad relativa y el diámetro se procedió a la determinación de la rugosidad absoluta de la tubería ()

- Se utilizó la ecuación de los mínimos cuadrados para determinar los parametros (a) y (n) de la ecuacion de caudal contra pérdida de carga

$$n = \frac{\log HF \log Q - \frac{\log HF \cdot \log Q}{N}}{(\log Q)^2 - \frac{(\log Q)^2}{N}}$$

$$a = 10 \frac{\log HF - \log Q}{N}$$

Para determinar la ecuación de pérdida de carga en porcentaje y en función del caudal

$$HF = a Q^n$$

5.2 En la tubería con goteros sin salidas

A los datos obtenidos en esta condición se le aplicaron los siguientes análisis

- La ecuación de Darcy-Weisbach y de los mínimos cuadrados al cual se le hizo el mismo análisis de las tuberías normales.

5.3 En la Tubería con goteros y salida de agua

A los datos obtenidos en esta condición se les aplicó la ecuación de los mínimos cuadrados para fijar los parametros (a) y(n) de la ecuación $HF = aQ^N$.

5.4 Efecto de la obstrucción de los goteros en la tubería

Con los resultados obtenidos en 5.1 y 5.2 se procedió a determinar el efecto producido por la obstrucción de los goteros sobre el comportamiento hidráulico de la tubería, usando el principio de la pérdida de carga menor (HFm) por obstrucción.

$$Hfcg = Hf(sg) + N^{\circ}G \times K \frac{V^2}{2g}$$

$$K = \frac{HF(CG) - Hf(SG)}{N^{\circ}G \times V^2} 2g$$

donde:

HFCG: Pérdida de carga con goteros

HfSG: Perdida de carga sin goteros

N^oG : Número de goteros

K : Coeficiente por obstrucción

5.5 Determinación del coeficiente de salidas múltiples

Según Christiansen (1942) las pérdidas de carga en una tubería de salidas múltiples se puede determinar así:

$$Hf_{(1)} = f_s \times Hf$$

donde

Hf_1 : Pérdidas de carga en tubería de salidas múltiples

f_s = Factor de salidad que depende del número de salidas y del exponente de la velocidad

Hf = Pérdida de carga en la tubería con una sola salida.

Para comprobar este factor (f_s) en riego por goteo se determinaron algunos valores reales de f_s en el experimento basado en lo siguiente:

$$f_s = \frac{Hf_{(1)}}{Hf}$$

$$f_s = \frac{a_2 Q_2^{n_2}}{aQ^n}$$

donde:

$a_2 Q_2^{n_2}$: Ecuación de Pérdida de carga para la tubería con salida múltiple

aQ^n : Ecuación de pérdida de carga para la tubería con una salida

6. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

6.1 En la tubería normal

Al plotear los valores de HF vs Q en un papel doble logarítmico toman una tendencia de una línea recta (fig. No.3), al determinar con los datos de las pruebas el factor de fricción y el número de Reynolds (cuadro No. 1) y plotearlos en el Diagrama de Moody se obtiene una curva paralela a las curvas de tubería lisa (fig. 4) dando una rugosidad relativa de 0.000001 y absoluta de 0.000013 mm; con un coeficiente C de la ecuación de Hasen-Williams de 155 lo que indica que dicha ecuación se puede usar para la determinación de HF en las tuberías de polietileno de pequeño diámetro.

Con los datos de la prueba se obtuvo el coeficiente K de la ecuación Escobey dando Q 32 que es el coeficiente recomendado para diámetros menores de 2 pulgadas.

6.2 Tubería con goteros sin salidas

Se observa que al aumentar el número de goteros en la tubería aumenta la rugosidad de la tubería (fig. 6, 8, 10 y 12) siendo el efecto de los goteros sobre la pérdida de carga relativamente baja (fig. 3,5,7,9 y 11) obteniéndose un promedio de $K = 0.5$ por gotero para la ecuación de pérdida de carga por obstrucción $HF_0 = K V^2/2g$.

6.3 Tuberías con goteros y salida de agua

Al determinar HF y SQ en la tubería con goteros trabajando en forma normal se observa que HF disminuye a medida que aumentan el número de goteros (Cuadro Nos. 6,7,8 y 9) y (figs. 12, 13, 14, 15 y 16) y al comparar las pérdidas de carga con goteros sin salidas y con salida se obtienen unos coeficientes parecidos a los factores de salida múltiple obtenidos por Christiansen (1942) con la diferencia que los factores obtenidos varían con el caudal (Cuadro No.)

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda para la determinación de las pérdidas de carga en las tuberías de polietileno de pequeño diámetro las ecuaciones de Darcy-Weisbach y Hasen-Williams con un $C = 155$
2. El coeficiente K para la ecuación de Scobey para las tuberías de pequeño diámetro es de un promedio igual a 0.32
3. Las tuberías de polietileno de pequeño diámetro tienen un comportamiento de tubería muy lisa.
4. El efecto de obstrucción de un gotero en la tubería se puede determinar por la siguiente ecuación.

$$Hf_0 = 0.5 \frac{v^2}{2g}$$

5. En el diseño de las tuberías laterales y múltiples se recomienda el uso del factor de salidas múltiples encontrado por Christiansen.

CUADRO No. 1

DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE LA TUBERIA DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD, 13 mm de DIAMETRO INTERNO Y 100 mts. DE LONGITUD

HF.MTS.	F*	V Mts/Seg	Q̄ LPH	LOG HF	LOG Q	LOG HF. LOG Q	(LOG Q) ²	C	K	Rx10 ³	t c.	Vx10 ⁻³ cm ² /Seg	E/D	E mm
0.0925	0.025	0.097	46.51	-1.03	1.67	-1.72	2.79			1.83	36.75	6.875		
0.425	0.033	0.180	85.81	-0.37	1.93	-0.72	3.74			3.36	37.5	6.95		
0.71	0.034	0.283	110.9	-0.15	2.04	-0.31	4.18			4.34	37.5	6.95		
1	0.033	0.279	133.2	0	2.1245	0	4.5135	145.33	0.368	5.23	36.5	6.925		
1.5	0.032	0.344	164.37	0.1761	2.2158	0.3902	4.9099	144.079	0.366	6.45	36.5	6.925		
2.0	0.03	0.410	196.08	0.3010	2.2924	0.6900	5.2552	147.144	0.3528	7.70	36.5	6.925		
2.50	0.028	0.476	227.22	0.3979	2.3564	0.9377	5.5528	151.162	0.3850	8.99	36.75	6.875		
3.90	0.027	0.599	286.13	0.5910	2.4565	1.4519	6.0347	149.718	0.3346	11.20	36.25	6.95		
5.91	0.025	0.77	367.88	0.7715	2.5657	1.9796	6.5829	153.795	0.3145	14.19	35.5	7.05		
7.005	0.024	0.86	410.93	0.8454	2.6138	2.20997	6.8317	156.729	0.3021	16.08	36.25	6.95		
7.96	0.025	0.898	429.2	0.9009	2.6327	2.3718	6.9309	152.78	0.3161	17.04	36.65	6.85		
8.97	0.023	0.974	465.398	0.9528	2.6678	2.5419	7.1173	155.318	0.3195	18.48	36.65	6.85		
9.80	0.022	1.062	508.26	0.9912	2.7061	2.6823	7.3229	161.711	0.2822	20.11	36.75	6.875		
10.95	0.024	1.078	515.04	1.0394	2.7118	2.8187	7.3541	154.335	0.3075	20.38	36.75	6.875		
11.85	0.022	1.171	559.639	1.0737	2.7479	2.9504	7.5510	160.7	0.3161	22.14	36.75	6.875		
13.04	0.022	1.226	585.87	1.1153	2.7678	3.0869	7.6607	159.761	0.2872	23.07	36.6	6.9		
14.08	0.021	1.291	617.215	1.1480	2.7904	3.2051	7.7805	161.478	0.2804	24.07	36.1	6.975		
15.10	0.021	1.353	646.479	1.179	2.8106	3.3136	7.8992	162.866	0.2864	25.21	36.1	6.975		
15.70	0.021	1.377	657.83	1.1959	2.8181	3.3702	7.9418	162.276	0.2735	25.56	35.9	7.0		
				12.68	41.278	34.000	107.245	155	0.32					

E 10000'0

100000'0

3.2.69

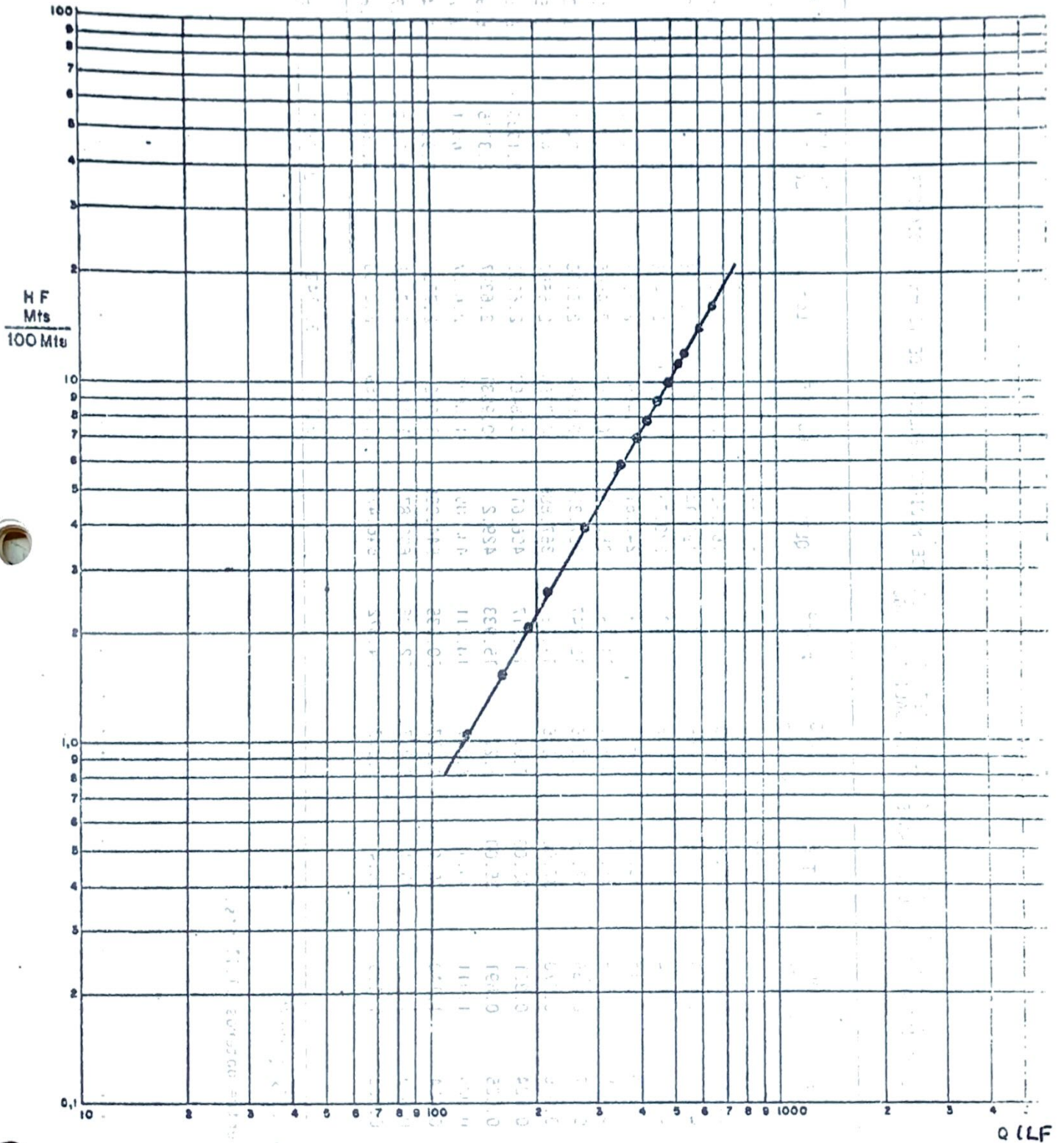
HF = 2.39 x 10⁻⁴ Q

F: Factor de fricción para el Diagrama de Moody

K̄ = 0.38

C̄ = 155

PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS
DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD
13 mm DIAMETRO INT. Y 16 mm DIAMETRO EXT.



$HF = 0,000239 Q^{1.7107}$
% LPH

Fig 1103

CUADRO NO. 2

PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD DE 13 mm DE DIAMETRO INTERNO Y 10 GOTEROS INSTALADOS EQUIDISTANTES Y SIN SALIDA DE AGUA

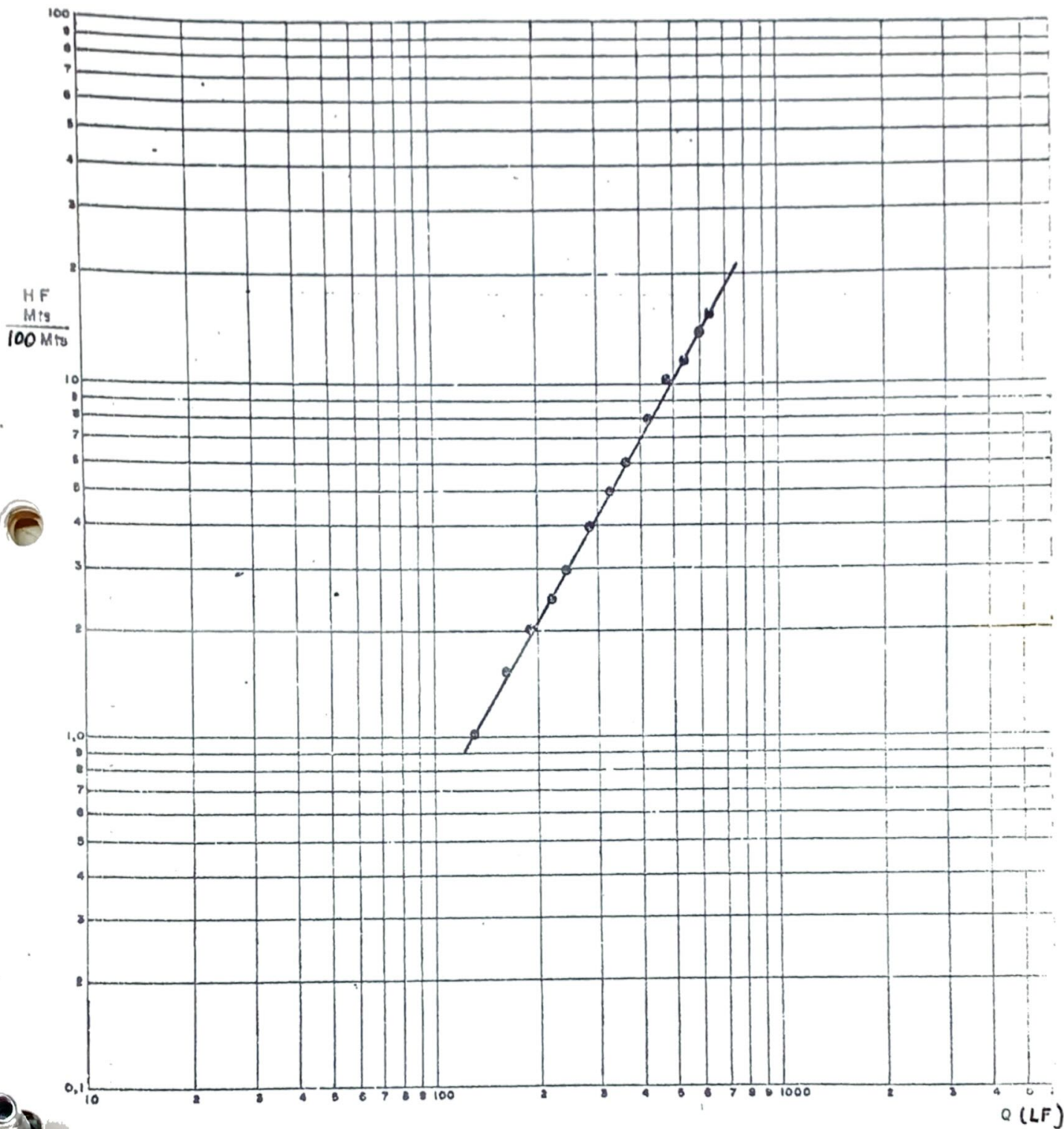
HF mts.	F	V mts./seg	T°C	Vx10 ⁻³ cm/seg	Rx10 ³	QLPH	Log HF	Log Q	Log HF x Log Q	(Log)2
1	0.033	0.279	38.75	6.775	5.35	133.20	0	2.1245	0	4.5135
1.50	0.034	0.337	38.6	6.795	6.45	160.95	0.1761	2.2067	0.3886	4.8695
2.00	0.031	0.404	38.9	6.755	7.77	193.14	0.30103	2.2858	0.6881	5.2252
2.45	0.029	0.462	38.5	6.808	8.82	220.73	0.33891	2.3438	0.9121	5.4937
2.93	0.028	0.518	38.25	6.841	9.84	247.615	0.4668	2.3937	1.1175	5.7301
3.95	0.028	0.599	38.25	6.841	11.39	286.133	0.5966	2.4565	1.4655	6.0347
4.96	0.027	0.695	37.15	6.986	12.747	327.356	0.6954	2.5150	1.7491	6.3253
5.96	0.026	0.770	37.00	7.006	14.288	367.886	0.7756	2.5657	1.99	6.5829
6.93	0.024	0.851	35.00	7.27	15.217	406.61	0.8407	2.6092	2.1936	6.8078
8.00	0.025	0.891	35.00	7.27	15.933	429.2	0.9031	2.6327	2.3776	6.9309
10.00	0.022	1.011	35.4	7.217	18.111	484.05	1.0011	2.6817	1.6911	7.2010
12.08	0.024	1.140	35.4	7.217	20.535	544.056	1.082	2.7356	2.96	7.4837
14.03	0.023	1.253	35.1	7.257	22.535	600.87	1.1471	2.7788	3.18/3	7.7216
15.70	0.022	1.353	35.4	7.217	24.372	646.479	1.1959	2.8106	3.3611	7.8992
							9.573	35.142	25.0831	88.8425

HF = 3.11 x 10⁻⁴ x Q^{1.6694}

Separación entre goteros 11.11 mts.

PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS
DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD

13 mms DIAMETRO INT. Y 16 mms DIAMETRO EXT. + 10 GOTEROS SIN SALIDA



HF = 0,000311 Q^{1.6694}
%

FIG N°5

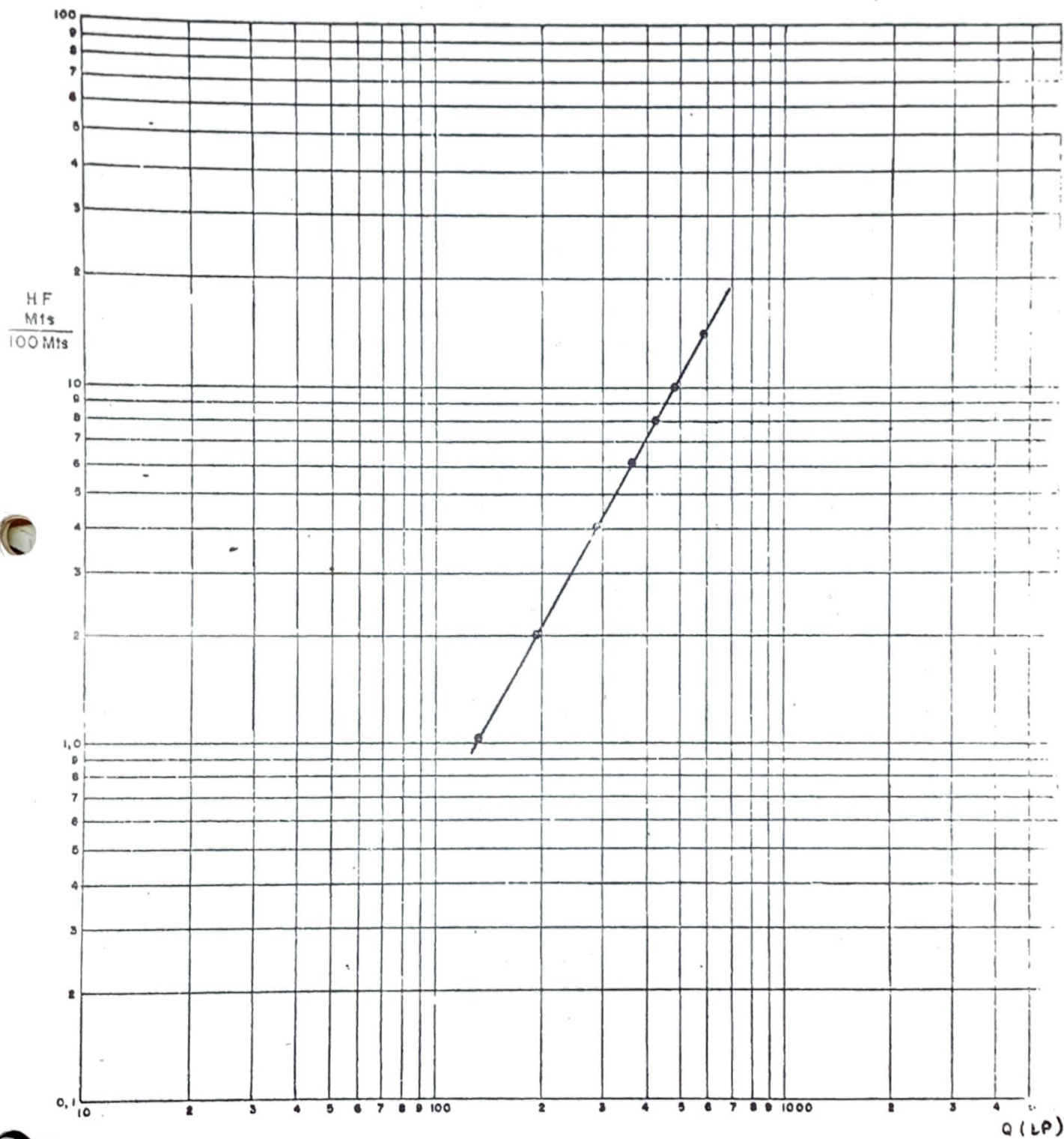
CUADRO NO. 3 PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD DE 13 mm DE DIAMETRO INTERNO Y 20 GOTEROS INSTALADOS EQUIDISTANTEMENTE Y SIN SALIDA DE AGUA.

HF Mts	F	V Mts/Seg	T°C	$V \times 10^{-3}$ cm ² /Seg	R x 10 ³	\bar{Q} LPH	Log HF	Log Q	Log HF x Log Q	(Log Q) ²
1.00	0.034	0.273	38.0	6.874	5.163	130.622	0	2.116	0	4.4775
2.00	0.032	0.401	38.25	6.848	7.612	191.406	0.3021	2.282	0.6894	5.2073
4.10	0.029	0.599	38.25	6.848	11.371	286.40	0.6128	2.457	1.5056	6.0367
6.20	0.027	0.763	38.15	6.854	14.472	364.75	0.7924	2.562	2.0301	6.5639
8.05	0.025	0.899	37.6	6.927	16.872	429.6	0.9058	2.6331	2.385	6.933
10.21	0.025	1.011	37.25	6.973	18.848	483.3	1.009	2.009	2.7084	7.2050
12.08	0.023	1.154	36.5	7.072	21.213	551.409	1.0821	2.7415	2.9665	7.5157
14.25	0.023	1.245	36.2	7.112	22.757	594.831	1.1538	2.7744	3.2011	7.6973
15.47	0.022	1.330	36	7.138	24.222	635.522	1.1895	2.8031	3.3343	7.8575
							6.4892	26.9952	17.7349	67.2704

HF = $1.7 \times 10^{-4} Q^{1.7721}$

Separación entre goteros 5.56 mts.

PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS
DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD
13 mms DIAMETRO INT. Y 16 mms DIAMETRO EXT. + 20 GOTEROS SIN SALIDA



HF = 0,00017 %
Q 1.7721 LPM

FIG N°7

CUADRO NO. 4. HF EN FUNCION DE Q PARA UNA IUBERIA DE POLIETILENO NEGRO DE 13 mm DE DIAMETRO INTERNO Y 40 GOTEROS INSTALADOS SIN SALIDA DE AGUA

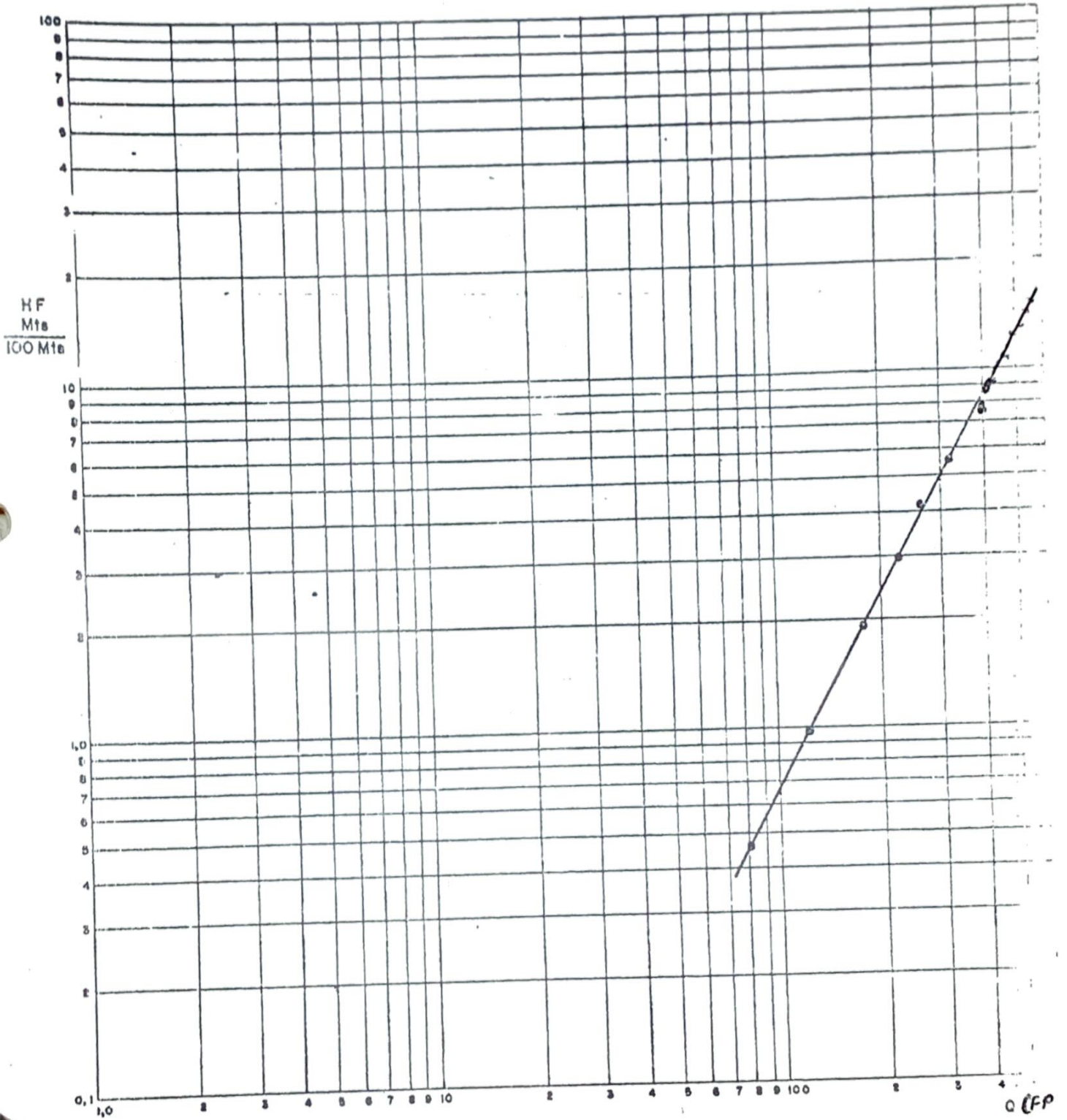
HF Mts	QLPH	F	V Mts/Seg	T°C	V x 10 ⁻³	R x 10 ³	Log HF	Log Q	Log HF x Log Q	(Log Q)
0.98	128.74	0.035	0.269	40.0	6.610	5.290	-0.0088	2.1097	-0.0186	4.4508
1.95	185.11	0.033	0.387	39.0	6.742	7.462	0.29	2.2674	0.6576	7.5593
2.96	235.20	0.031	0.492	37.5	6.940	9.216	0.4713	2.3714	1.1177	5.6237
4.25	273.82	0.033	0.573	40.0	6.610	11.269	0.6289	2.4375	1.5329	5.4912
5.65	338.076	0.029	0.708	37.5	6.940	13.262	0.7520	2.5299	1.9018	6.3959
7.65	409.25	0.027	0.857	38.0	6.874	16.207	0.8837	2.612	2.3082	6.8225
8.65	427.25	0.028	0.894	38.0	6.874	16.907	0.9370	2.6307	2.465	6.9205
9.43	450.22	0.027	0.942	37.5	6.940	17.646	0.9745	2.6534	2.5858	7.0406
10.25	486.0	0.026	1.017	37.5	6.940	19.050	1.0102	2.6866	2.7678	7.218
11.95	511.20	0.027	1.070	37.5	6.940	20.043	1.0774	2.7086	2.9182	7.3365
13.17	547.60	0.026	1.146	37.0	7.006	21.265	1.1196	2.7385	3.066	7.4992
14.08	555.45	0.027	1.162	37.0	7.006	21.562	1.1486	2.7446	3.1525	7.5568
14.58	561.6	0.027	1.175	37.0	7.006	21.803	1.1638	2.7494	3.1998	7.5593

$$HF = 17 \times 10^{-5} \times Q^{1.788}$$

Separación entre goteros 2.77 mts.

PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS
DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD

13 mms DIAMETRO INT. Y 16 mms DIAMETRO EXT. + 40 GOTEROS SIN SALIDA



$HF = 0,00017 Q^{1,788}$
%

FIG N° 2

CUADRO No. 5. HF EN FUNCIÓN Q PARA UNA TUBERÍA DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD 13 mm DE DIAMETRO Y 80 GOTEROS INSTALADOS SIN SALIDA DE AGUA

HF Mts	Q LPH	F	V Mts/Seg	T°C	V x 10 ⁻³	R x 10 ³	Log HF	Log Q	Log HF x Log Q	(Log Q)
0.5	84.52	0.041	0.177	37.0	7.006	3.284	-0.30103	1.92696	-0.58007	3.7132
1.00	121.5	0.039	0.254	37.0	7.006	4.713	0	2.0846	0	4.3455
2.00	176.72	0.037	0.370	37.5	6.940	6.930	0.30103	2.2473	0.6765	5.05030
4.07	268.13	0.033	0.561	37.5	6.940	10.509	0.60959	2.4283	1.42029	5.8969
6.10	338.09	0.031	0.708	38.0	6.874	13.390	0.78533	2.52903	1.98612	6.3939
8.04	396.72	0.030	0.830	38.5	6.808	15.849	0.90526	2.5984	2.3523	6.75212
10.02	452.09	0.029	0.946	39.0	6.742	18.241	1.0009	2.65522	2.6576	7.0502
12.25	504.94	0.028	1.057	39.0	6.742	20.381	1.08814	2.70324	2.9415	7.3075
14.15	555.43	0.027	1.162	40.0	6.610	22.853	1.15076	2.74463	3.15841	7.5325
15.17	576.0	0.027	1.206	39.5	6.676	23.424	1.18099	2.76042	3.26003	7.6199

$HF = 20.7 \times 10^{-5} Q^{1.765120}$

$TR = \frac{130 V}{0}$

Separación entre goteros = 1.385 mts.

PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS
 DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD
 13 mms DIAMETRO INT. Y 16 mms DIAMETRO EXT. + 80 GOTEROS SIN SALIDA

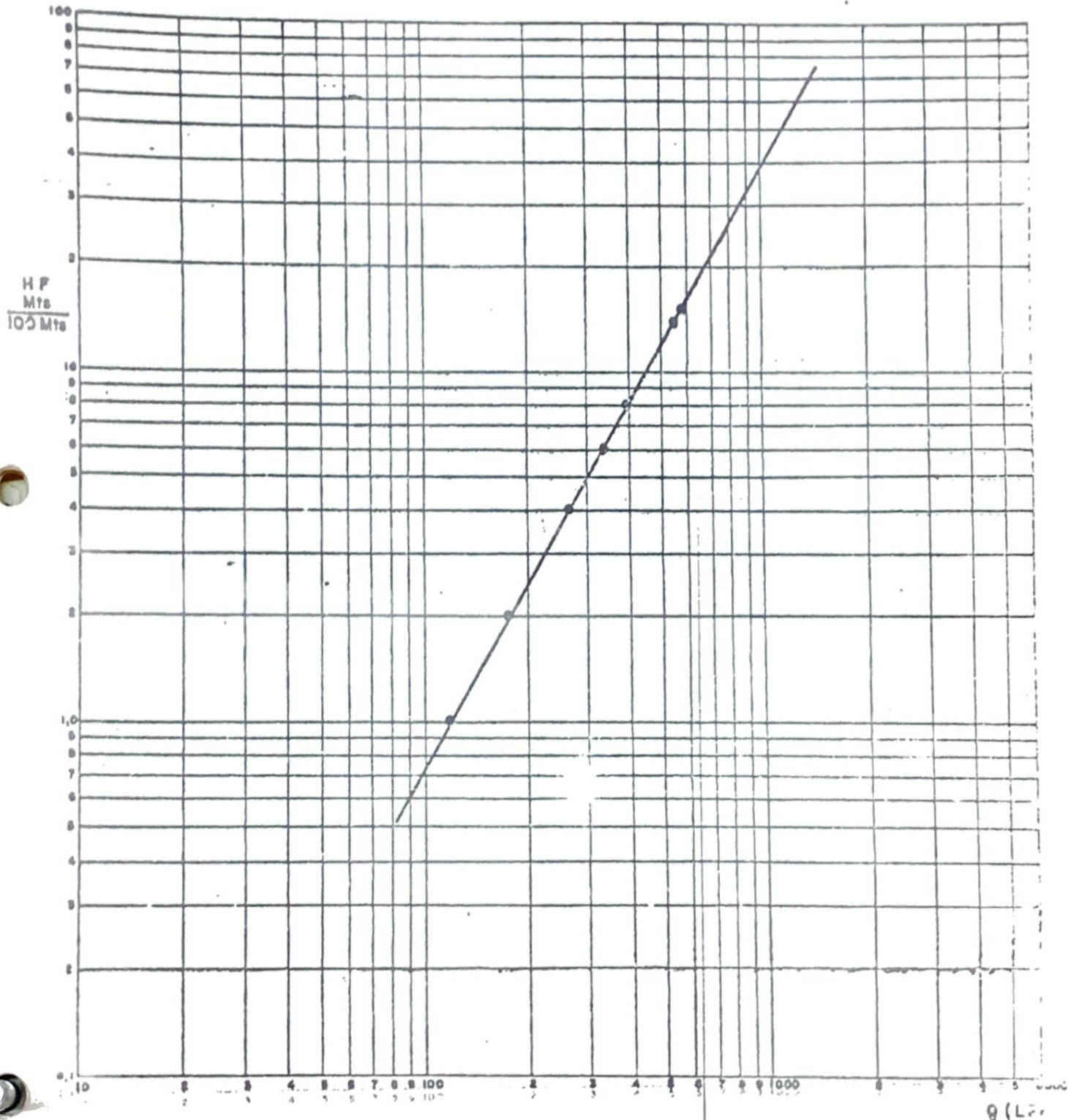


FIG NO 11

$H_f = 0,000207 Q^{1.7651}$
 % LPH

CUADRO NO. 6.

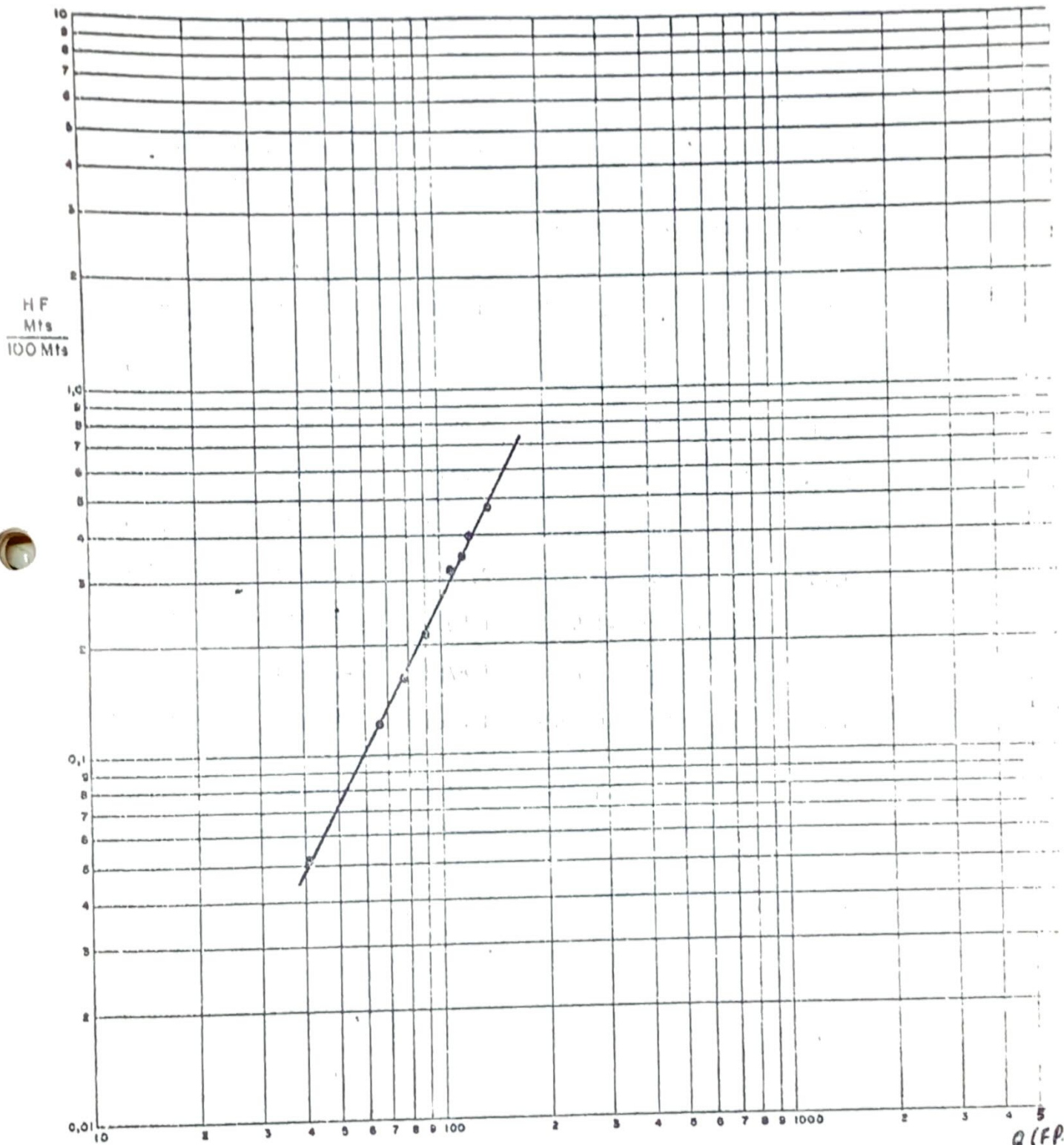
HF = F (Q) para la tubería de polietileno negro de mediana densidad, diámetro interno 13 mm, diámetro externo 16 mm, 100 mts. de longitud y 10 goteros instalado con salida.

HF	Q	Log HF	Log Q	Log.HFxLog Q	(Log Q) ²
0.052	40.065	-1.284	1.6028	-2.058	2.5689
0.121	64.4	-0.9172	1.8089	-1.6591	3.2721
0.1255	66.133	-0.9014	1.8204	-1.6409	3.3139
0.161	75.232	-0.7932	1.8764	-1.4884	3.5209
0.2123	88.8	-0.6731	1.9484	-1.3115	3.7963
0.302	106.30	-0.520	2.0265	-1.0538	4.1068
0.353	117.33	-0.4522	2.0694	-0.9358	4.2825
0.3923	120.06	-0.4064	2.0794	-0.8451	4.3239
0.45	134.266	-0.3468	2.1280	-0.7380	4.5282
		-6.2943	17.3602	11.7306	33.7135

$$HF = 6.40 \times 10^{-5} Q^{1.81}$$

PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD

13 mms DIAMETRO INT. Y 16 mms DIAMETRO EXT. + 10 GOTEROS CON SALIDA



$HF = 0,000064 Q^{1.81}$
% LPH

FIG NO 13

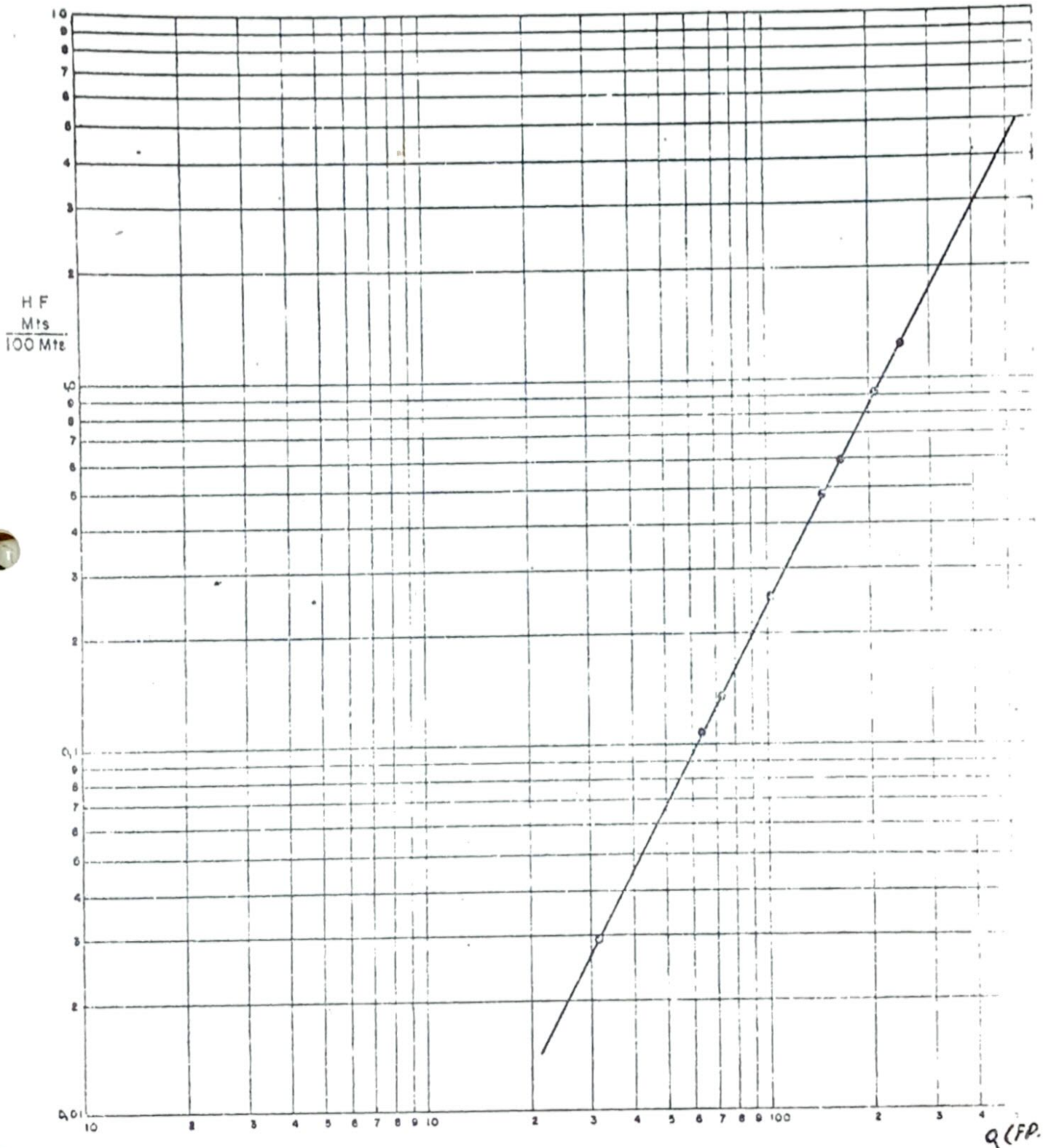
CUADRO NO. 7

HF=f (Q) para tuberfa de polietileno de mediana densidad, diámetro interno 13 mm, diámetro externo 16 mm, 100 mts. de longitud y 20 goteros instalados con salida

HF	\bar{Q}	Log HF	Log Q	Log HF log Q	(Log Q) ²
0.252	108.73	-0.5986	2.0341	-1.2176	4.1376
0.913	212.879	-0.0396	2.3281	-0.092	5.4202
1.234	257.994	0.0913	2.4116	0.2202	5.8159
0.595	169.409	-0.2255	2.2292	-0.5026	4.9692
0.482	150.504	-0.3170	2.1775	-0.6902	4.7417
0.029	31.997	-1.5376	1.5051	-2.3142	2.2654
0.135	75.208	-0.8684	1.8763	-1.6293	3.5204
0.104	64.595	-0.9829	1.8102	-1.7792	3.2768
		-4.4782	16.3721	-8.0049	34.1472

$$HF = 54 \times 10^{-6} Q^{1.8077}$$

PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS
 DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD
 13 mms DIAMETRO INT. Y 16 mms DIAMETRO EXT. + 20 GOTEROS CON SALIDA



HF = 0,00054 Q^{1.8077}
 % LPH

FIG Mº 14

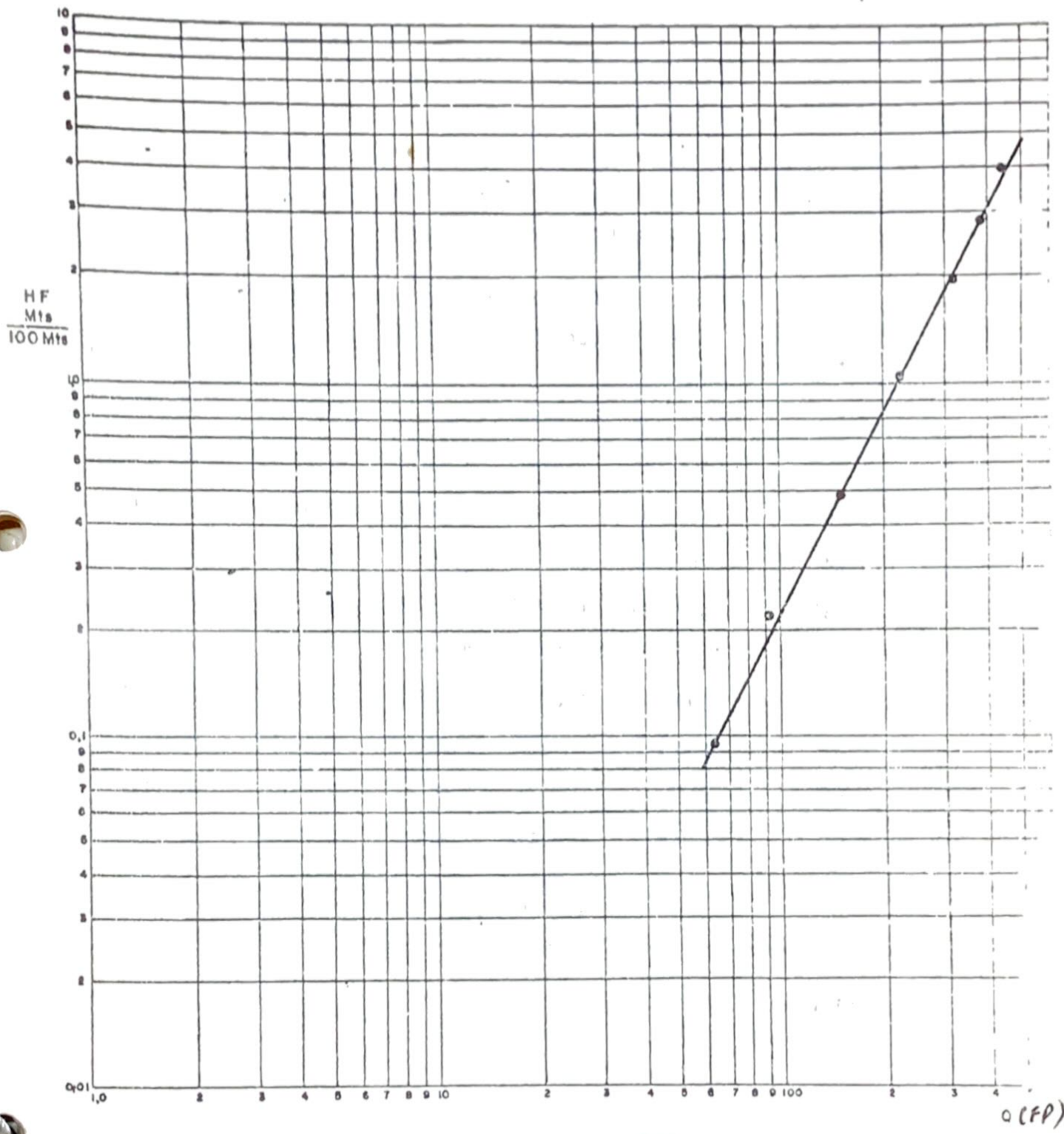
CUADRO NO. 8

=f (Q) para tubería de polietileno negro de mediana densidad,
diámetro externo 16 mm, 100 mts de longitud y 40 goteros instalados
con salidas.

HF Mts	\bar{Q} LPH	Log HF	Log Q	Log HF log Q	(Log Q) ²
0.094	66.467	-1.0269	1.8226	-1.8716	3.3219
0.219	94.547	-0.6596	1.9756	-1.3031	3.9032
0.489	153.482	-0.3107	2.1851	-0.6792	4.7788
1.076	238.23	0.0318	2.377	0.0756	5.6501
1.458	280.285	0.1638	2.4476	0.4008	5.9907
2.088	336.718	0.3197	2.5273	0.808	6.3871
2.814	399.409	0.4493	2.6014	1.1688	6.7674
2.685	446.328	0.5664	2.6496	1.5008	7.0206
3.928	478.897	0.5942	2.6802	1.5926	7.1837
		0.128	21.2674	1.6927	51.0035

$$HF = 42 \times 10^{-6} Q^{1.8587}$$

PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS
DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD
13 mms DIAMETRO INT. Y 16 mms DIAMETRO EXT. + 40 GOTEROS CON SALIDA



$HF = 0,000042 Q^{1.8587}$
%

FIG. N° 15

CUADRO NO. 9

HF = f (Q) para la tubería de polietileno negro de mediana densidad, diámetro interno 13 mm y diámetro externo 16 mm, 100 mts de longitud y 80 goteros instalados con salida

HF Mts	Q (LPH)	Log HF	Log	Log HF.Log Q	(Log Q) ²
0.11	74.256	-0.9586	1.87073	-1.7933	3.49964
0.23	106.416	-0.63827	2.02701	-1.29378	4.10876
0.49	163.199	-0.30980	2.21272	-0.68551	4.89612
1.04	254.448	0.01703	2.4056	0.04097	5.7869
2.161	389.639	0.33465	2.59066	0.86696	6.71153
3.24	496.8	0.51055	2.69618	1.37652	7.2694
4.61	596.041	0.6637	2.77528	1.84196	7.70216
5.81	686.208	0.76418	2.83646	2.16756	8.04548
6.97	763.776	0.84323	2.88297	2.43101	8.31149
8.81	870.6	0.94498	2.93982	2.77806	8.64253
		2.17165	25.2374	7.7304	64.974

$$HF = 61 \times 10^{-6} Q^{1.75622}$$

3477

**PERDIDA DE CARGA EN FUNCION DE Q PARA TUBERIAS
 DE POLIETILENO NEGRO DE MEDIANA DENSIDAD
 13 mms DIAMETRO INT. Y 16 mms DIAMETRO EXT. + 80 GOTEROS CON SALIDA**

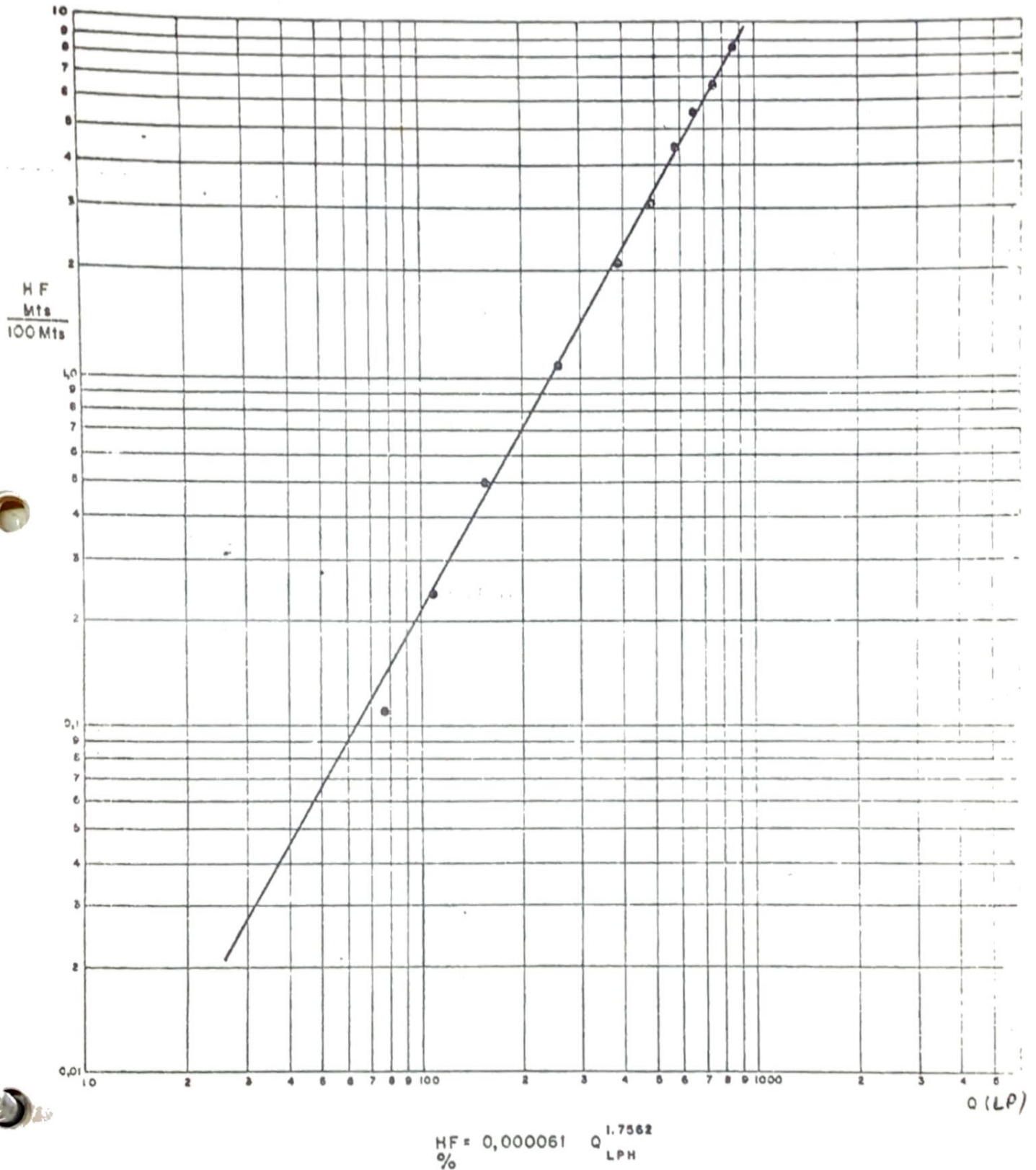


FIG N°16

Donde

H_f = Es la pérdida de carga en mts. por 100 mts de tubería

Q = Es el caudal medio en litros por hora

c = Es el coeficiente empírico de la fórmula de Hasen Williams

K = Es el coeficiente empírico de la fórmula de Scobey

R = Es el número de Reynolds

\bar{t} = Temperatura promedio

= Viscosidad cinemática del agua

E/D = Rugosidad relativa

E = Rugosidad absoluta

CUADRO NO. 10

Valores de los coeficientes de salidas múltiples en función del caudal y número de salidas obtenidas en las pruebas

No. de Salidas	QLPH		
	10	50	100
10	0.34	0.39	0.42
20	0.28	0.33	0.36
40	0.27	0.32	0.35
50	0.26	0.31	0.32

LA TEMPERATURA DEL AGUA: UN FACTOR DE DISEÑO EN RIEGO POR GOTEO

Eduardo Holzapfel Hoces. M.Sc.
 Profesor Depto. Ingeniería
 Agrícola. U. de Concepción.

La principal función del diseño de un lateral es determinar su largo y diámetro óptimo, desde el punto de vista hidráulico y económico y el número de emisores o goteros por planta que se requieren para reponer el agua evapotranspirada por las plantas con ciertas restricciones de uniformidad.

La uniformidad de aplicación está relacionada con la descarga de los emisores a través del lateral. Variación en la descarga se producen, por diferencias de presión debido a pérdidas por fricción y aceleración: variación de configuración entre los emisores y obstrucción de los mismos (Keller y Kormeli, 1975). Las pérdidas por fricción en un lateral son una función del tipo y diámetro de la tubería para un caudal determinado y se calculan generalmente a través de la ecuación de Hazen y William o Darcy-Weisbach multiplicada por un factor "F" que es función del número de emisores (n) en la relación siguiente (Keller y Kormeli, 1975):

$$F = (1/n^{2.85}) \sum_{I=1}^n I^{1.85} \quad \text{para } I = 1, 2, 3 \dots n$$

La variación de los valores de F es pequeña para un número superior a 10 emisores en el lateral. Para un lateral que posee entre 20 y 70 emisores, el valor de F puede ser igual a 0.36

Las pérdidas de presión en el lateral son generalmente limitadas a \pm 10% de la presión promedio de operación, esto permite una relación de descarga superior a 0.83. Con este criterio se obtiene un coeficiente de uniformidad de 95%.

El emisor es un componente que permite la salida del agua desde el lateral. Existe una gran diversidad de emisores, uno de ellos es el microtubo, clasifi

sificado como gotero de larga trayectoria. Este tipo de emisores son los más simples y de menor costo que se ofrecen en el mercado.

La descarga de un microtubo o emisor de larga trayectoria varía con la presión de operación, el diámetro interno, el largo y la temperatura del agua. Para una presión de operación y un diámetro dado, el caudal en un microtubo puede ser regulado usando un largo correcto (Jobling, 1976).

Un factor que puede tener bastante incidencia en la variación de la descarga de los emisores de larga trayectoria son los cambios de temperatura del agua a través del lateral y durante el día (Parchomchuck, 1976). El efecto de la temperatura tendría mayor o menor importancia según el tipo de flujo (laminar, de transición o turbulento) que ocurra en el emisor (Holzapfel, 1979).

Keller y Kormeli (1974), tabularon variaciones teóricas de descarga basadas en los cambios de viscosidad para un rango de temperatura entre 5 y 40°C. Entre estas temperaturas la variación teórica en caudal, relativa a la descarga a 20°C, es aproximadamente 2.8% por grado Celcius. Parchomchuck (1976), encontró experimentalmente que la descarga en un microtubo aumentaba con la temperatura a un valor constante de 1.4% por grado Celcius. Dicho aumento, menor que el teórico debido a la viscosidad puede ser causado por variaciones en el emisor y naturaleza del flujo. El efecto de la temperatura del agua en la variación de la descarga es mayor para emisores de larga trayectoria (microtubo, espiral, etc.) (Parchomchuck, 1976).

La temperatura varía a lo largo del lateral. Este parámetro no es normalmente considerado como un factor de diseño y puede tener un importante efecto en la uniformidad de aplicación.

El presente estudio tiene por objeto analizar la variación de temperatura en el lateral y su efecto en la descarga de los microtubos.

MATERIALES Y METODOS.

El estudio se realizó en la estación experimental Nickels de la Universidad de California en Colusa durante el verano de 1978 y 1979. En la estación experimental existía un huerto de almendros de 3 años plantados a 7.3 x 7.3 metros e irrigado por goteo.

Los antecedentes climáticos del área se entregan en el cuadro 1.

CUADRO 1. ANTECEDENTES CLIMATICOS DEL ARFA DE COLUSA.

	Jun	Jul	Ago	Sep	Prom. anual	Temperatura media del verano
Temp. °C	23.1	26.0	25.5	21.1	-	23.9
Precipitación mm.	1.9	0.0	0.5	2.28	425.1	

A. Riego

El método de riego por goteo utilizó microtubos como emisores, conectados a un lateral de PVC de 0.58 cm. de diámetro interno colocado en la superficie del suelo a lo largo de la línea de árboles. Los microtubos tenían un diámetro interno de 0.889 mm. y un largo de 60 cm. La presión y el abastecimiento de agua eran proporcionados por el sistema Colusa.

B. Distribución de temperatura, descarga y presión en el lateral.

Se seleccionaron cinco laterales de 95 metros de longitud. Con el objeto de tener antecedentes para laterales de mayor longitud se unieron dos laterales al pie conectados al auxiliar en un solo extremo.

1. Temperatura.

La temperatura se midió con un termómetro de mercurio a la salida de cada emisor. La sensibilidad del termómetro era de 0.1°C.

2. Descarga.

El caudal de cada emisor a través del lateral se midió con un cilindro graduado y cronómetro.

3. Presión.

La presión del agua a través del lateral se midió con un manómetro diferencial de mercurio en cada punto donde se midió descarga y temperatura. El manómetro se colocó sobre una referencia fija, cuya elevación era conocida.

RESULTADOS Y DISCUSION

En riego por goteo el agua filtrada es aplicada directamente a la superficie del suelo a través de salidas que disipan la presión. Como cualquier método de riego, eficiencia y uniformidad de aplicación son parámetros importantes.

La variación de presión a través del lateral es afectada por el roce y los cambios en elevación de la tubería. La variación en presión y temperatura a su vez afectan la descarga de los emisores en el lateral.

La variación de presión a lo largo del lateral, ha sido estudiada por varios investigadores (Keller y Kormeli, 1974, Howell y Hiller 1975, Wu y Gitlin 1975). La variación de la temperatura a través del lateral no se considera como un parámetro que afecta la descarga, con fines de diseño se asume un valor constante de alrededor de 20°C. (Jobling, 1976, Keller y Kormeli, 1975).

A. Temperatura a lo largo del lateral.

Los cambios de temperatura del agua desde la cabecera al pie del lateral se producen por el calentamiento directo de la tubería por la radiación incidente, el calor sensible transferido desde la superficie del suelo y el aire alrededor de la tubería. La mayor variación de temperatura en el agua a través del lateral se produce después de medio día cuando la radiación incidente y la temperatura de la superficie del suelo es alta.

En la figura 1 se muestran los cambios de temperatura a lo largo de un lateral de 200 metros de longitud. La variación de la temperatura a través del lateral aumentó entre las 10.00 y 16.00 horas por la mayor energía disponible debido a las razones expuestas anteriormente. Después de las 16.00 horas la variación disminuyó progresivamente.

En general, se observa un mayor aumento de temperatura entre los 80 y 120 metros, esto se debe a una disminución de la velocidad en la tubería y a que aún la diferencia de temperatura entre el agua la fuente de energía es bastante elevada. Después de los 130 metros el aumento de la temperatura es menor a pesar de una velocidad baja debido a que la diferencia de temperatura con el medio es menor. Por otro lado, se requiere mayor cantidad de energía para incrementar la

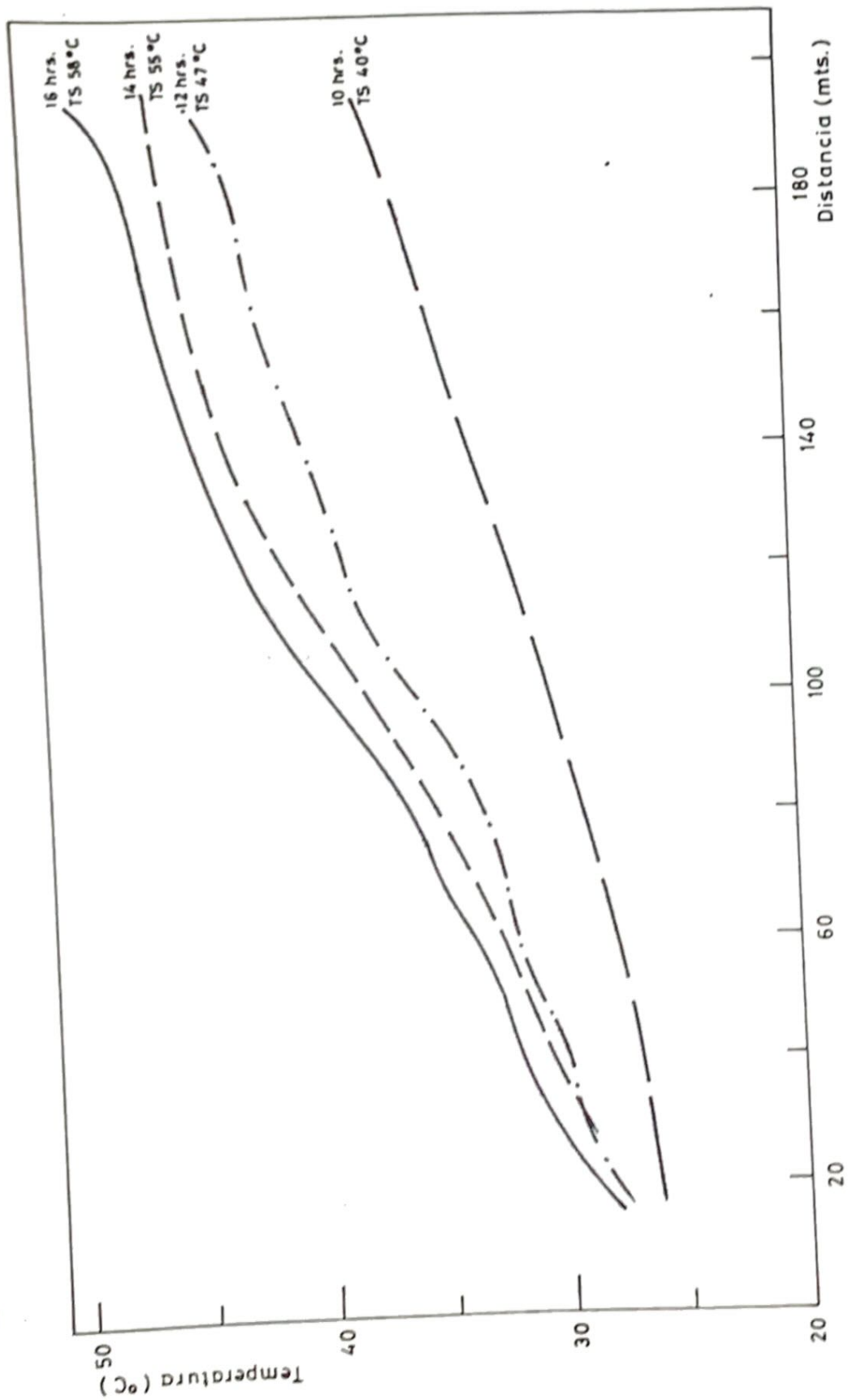


FIGURA 1. VARIACION DE LA TEMPERATURA EN UN LATERAL DE 200 MTS. A DIFERENTES HORAS DEL DIA.

temperatura en el rango alto. En los primeros metros la velocidad es alta y la posibilidad de calentamiento es menor.

Para laterales de 95 metros de longitud el comportamiento del fenómeno es parecido a lo que ocurre en los primeros metros de un lateral de 200 metros de longitud (Fig. 2).

La variación promedio encontrada entre la cabecera y el pie para un lateral de 200 metros de longitud fue de 0.11°C por metro. Para laterales de 95 metros de longitud dicha variación fue de 0.12°C por metro.

Cuando la temperatura del suelo es baja y la radiación incidente en un gran porcentaje se consume en calentar la atmósfera la variación de temperatura del agua en el lateral es baja y constante.

En un día despejado la variación promedio de temperatura del agua desde la cabecera al pie de un lateral de 95 metros fue de 12.5°C (desde 27.5 a 40°C). Para los días nublados la variación promedio fue de 8°C (desde 22 a 30°C) desde la cabecera al pie.

Desde estos resultados y aquellos encontrados por Parchomchuck (1976), se puede visualizar que bajo condiciones de campo existen cambios apreciables en temperatura a lo largo de un lateral y que temperatura del agua bajó 21°C , es poco común encontrar en los sistemas de riego y que son por cierto las que se usan en diseño.

B. Temperatura y su efecto en la descarga de microtubos.

El efecto de la temperatura en la descarga de microtubos y en general en emisores de larga trayectoria es de gran importancia. Dicho efecto se debe a los cambios de viscosidad del agua, que hacen variar las pérdidas de carga. En la medida que el flujo es menos turbulento mayor es el efecto de la temperatura.

La variación de la temperatura produce desuniformidad de aplicación a través del lateral. Se encontraron variaciones de 22% en descarga a lo largo de laterales de 95 metros de longitud cuando la temperatura varió en 15°C .

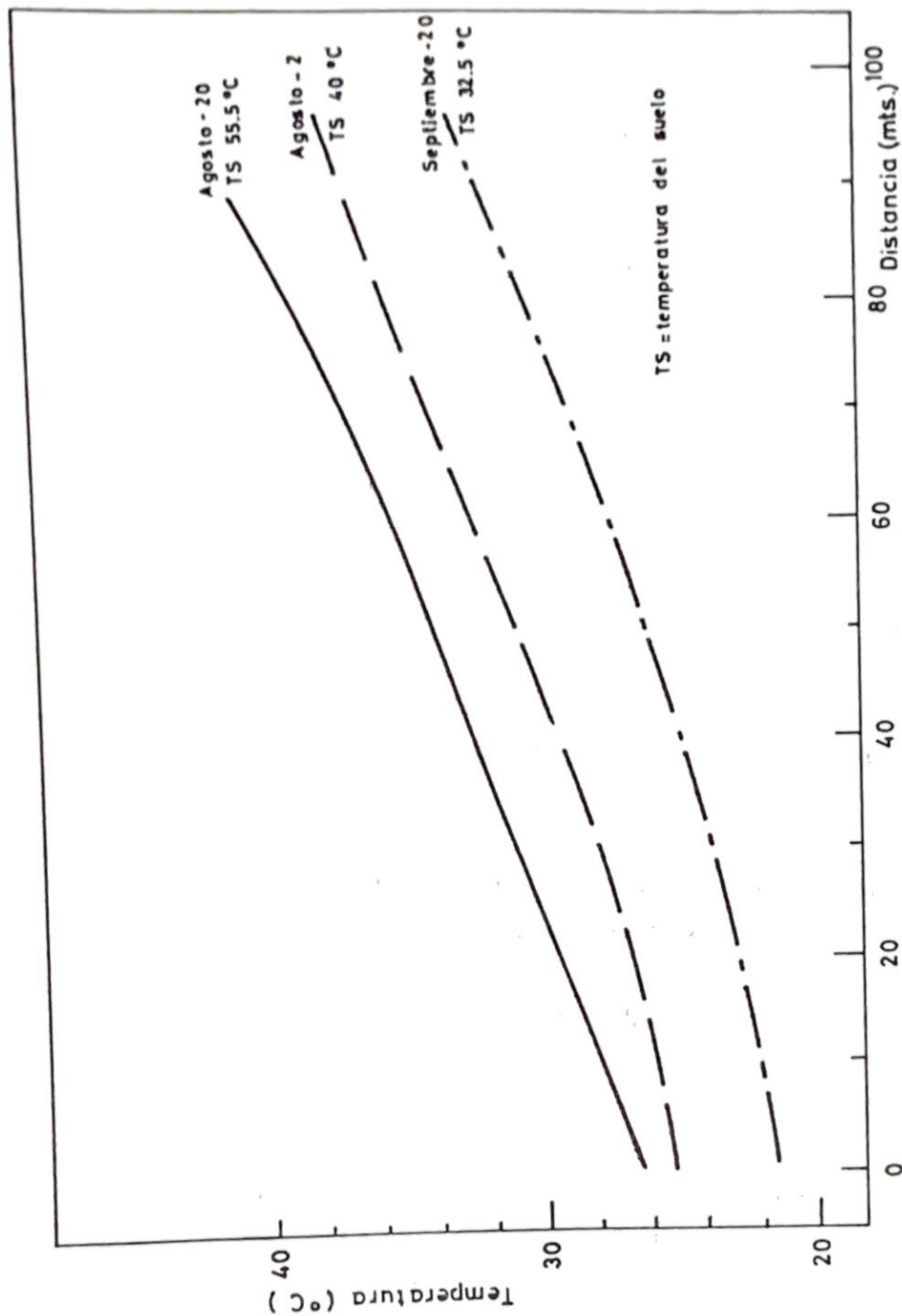


FIGURA 2. VARIACION DE LA TEMPERATURA EN UN LATERAL DE 95 MTS.
PARA DIFERENTES PERIODOS DEL VERANO. (14:00 Hrs.).

Manteniendo hipotéticamente constante la presión a lo largo de un lateral (Fig. 3), el efecto de la temperatura puede producir variaciones en la descarga de los microtubos de hasta 80% para un lateral de 200 metros de longitud. Para laterales de 95 metros se pueden observar variaciones de 26%, mayores que las permitidas para obtener una aceptable eficiencia de distribución.

Los efectos de la temperatura y presión se pueden ir compensando a través del lateral; pero ambos deben ser analizados con fines de diseño y manejo de riego por goteo.

Además, a través de esta investigación se determinó que la fórmula de Darcy-Weisbach es un modelo que tiene un mejor comportamiento en la determinación de las pérdidas de carga en el sistema de tuberías del riego por goteo, porque considera todos los parámetros involucrados. El éxito de este modelo está en gran medida superditado a una correcta determinación del valor "f" de la fórmula.

CONCLUSIONES.

En relación a los resultados obtenidos de este trabajo, se puede concluir que:

1. La temperatura de agua es un parámetro importante de considerar en el diseño de riego por goteo.
2. En condiciones de campo, sobre todo en áreas con altas temperaturas, es difícil encontrar temperaturas del agua inferior a 21°C.
3. Los cambios de temperatura entre la cabecera y el pie de los laterales producen importantes variaciones en la descarga de agua, cuando se utilizan emisores de larga trayectoria como goteros.
4. La ecuación de Darcy-Weibach es la que mejor se comporta para ser usada con fines de diseño de riego por goteo, porque considera en la determinación de pérdidas de carga un mayor número de variables hidráulicas involucradas.

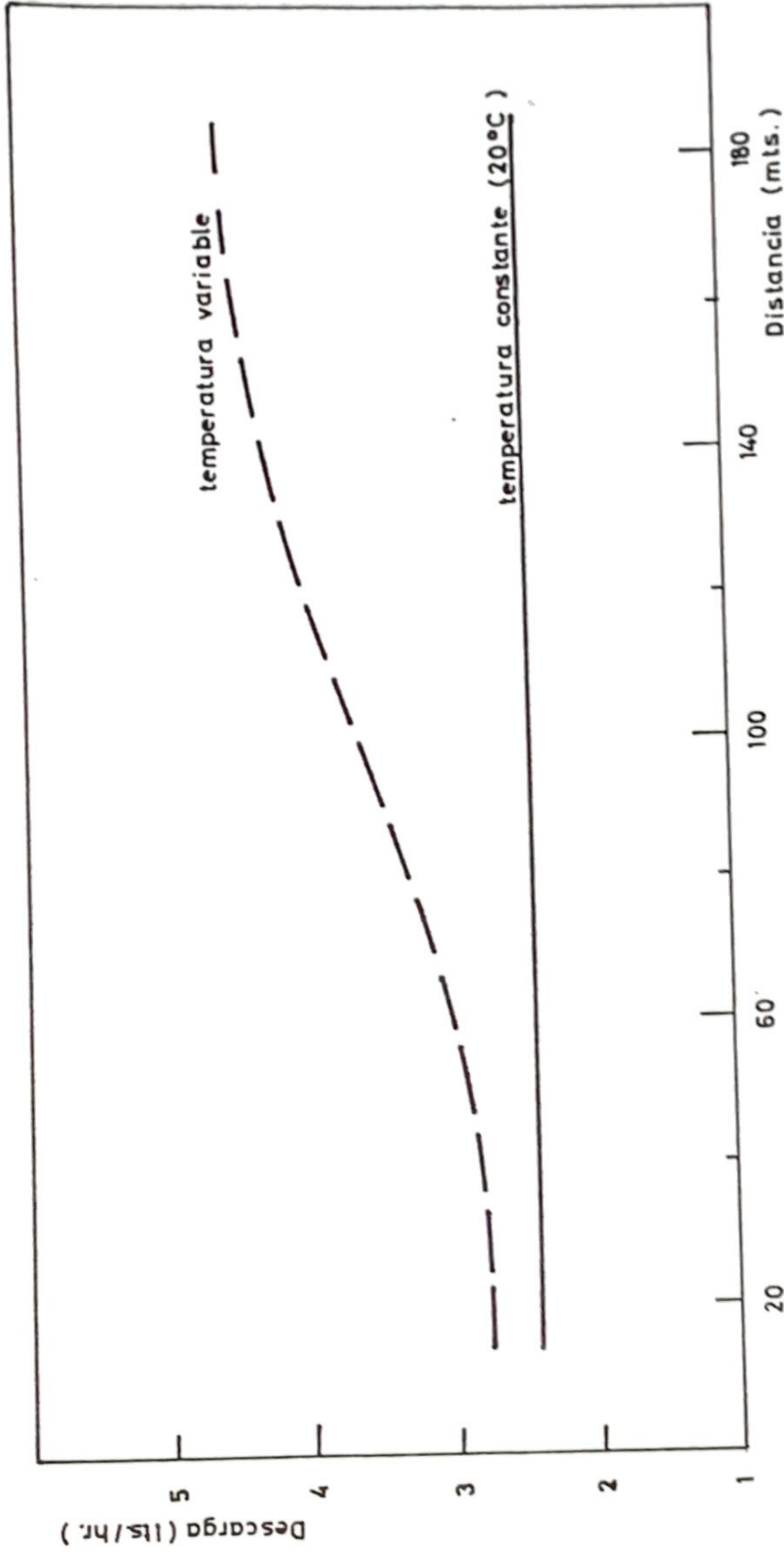


FIGURA 3. DESCARGA DE UN MICROTUBO A PRESION CONSTANTE DE 4 MTS. DE AGUA PARA UNA TEMPERATURA DE 20°C Y PARA LA VARIACION DE LA TEMPERATURA DEL 20 DE AGOSTO DE 1979.

RECOMENDACIONES.

Cuando se quiera diseñar e implantar un sistema de riego por goteo en una región determinada, es conveniente analizar a fondo todos los parámetros climáticos, sobre todo aquellos que causan un mayor efecto en los cambios de temperatura del agua, como radiación insidente, albedo, y temperatura del medio ambiente. Sin duda, ésto contribuirá a optimizar el diseño y manejo del riego por goteo.

Por otro lado, es importante continuar investigando el efecto de la temperatura del agua en la descarga de otro tipo de emisores.

BIBLIOGRAFIA

1. HOLZAPFEL, EDUARDO. 1979. Drip Irrigation Design in Young Almond Trees. Master of Science Thesis.. University of California.
2. HOWEL, T.A. y E.A. Hiler, 1974. Designing Trickle Irrigation and Drainage Division, 100 (IRA): 443-453.
3. KELLER J Y D. KORMELI, 1974. Trickle Irrigation design Parameters Transaction of the ASAE. Vol. 17 (Nº4). 678-684.
4. KELLER J y KORMELI. D. 1975. Trickle Irrigation Design. Raind Bird Sprinckler Man. Co. Glendora, California.
5. PARCHOMCHUCK PETER. 1976. Temperature Efects on Emitter Discharge Rates. Transaction of ASAE. Vol. 19 (Nº4) 690-692.
6. WU, I y H.M. GITLIN. 1975. Energy Gradient Line for Drip Irrigation Lateral. Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE (IRA): 323-326.

"ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES METODOS PARA
DETERMINAR PERDIDAS DE CARGA EN TUBERIAS DE POLIETILENO Y POLIVINILO"

POR: Ing. Marina de Contreras *
 Ing. Carmen Bohórquez **
 Est. Mikeas López ***
 Est. Mario Flores ***
 Est. Ladislao Chávez ***

R E S U M E N

Con éste trabajo se pretende hacer un estudio comparativo de las diferentes fórmulas existentes para el cálculo de pérdidas de carga en tuberías a presión.

Después de un exhaustivo análisis de las fórmulas se llegó a la conclusión de que la mayoría de ellas son en una u otra forma expresiones de la fórmula de Darcy-Weisbach con la aproximación para el f de Blasius, quedándose solo con la fórmula experimental de Hazen - Williams; expresada en función de pérdidas de carga:

$$J_{(m/m)} = 10.6489 \quad Q^{1.85} \quad C^{-1.85} \quad D_{(m)}^{-4.87}$$

(m³/seg)

Es de hacer notar que existe una gran variación en el coeficiente numérico de ésta fórmula por lo cual fué necesario hacer un análisis del mismo, partiendo de la fórmula original en unidades inglesas, llegándose a la conclusión de que éste es el coeficiente verdadero, coincidiendo con la mayoría de los autores consultados.

Se realizó una prueba de campo con el fin de relacionar los datos obtenidos por las fórmulas con los datos medidos; concluyendo como era de esperarse que la fórmula de Darcy-Weisbach es la que mas se ajusta a los valores medidos. Sin em-

* Funcionaria de la Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental (FUDECO)

** Funcionaria del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP)

*** Estudiantes del Instituto Tecnológico de Yaracuy (I.U.T.Y)

bargo la fórmula de Hazen Williams con un coeficiente C de 150 se ajusta bastante bien; por lo cual resulta indiferente a nivel preliminar utilizar cualquiera de las dos fórmulas.

Para facilitar el uso de la fórmula de Darcy Weisbach y debido al hecho de que los diámetros de las tuberías de polietileno vienen referidas a diámetros externos se elaboraron unas tablas de pérdidas de carga mediante el uso de la computadora.

1. JUSTIFICACION

Todas las fórmulas empíricas generadas por diversos autores son en alguna forma aproximaciones de la fórmula la universal para pérdidas de carga de Darcy-Weisbach.

Debido a las dificultades que se presentan en el cálculo de las pérdidas de carga con la utilización de esta fórmula por el hecho de que el factor de fricción se encuentra en forma implícita, los proyectistas se han inclinado a utilizar la fórmula de Hazen-Williams. Sin embargo en los últimos años, por las facilidades que se tienen con el uso de las computadoras, en muchos países se han generado tablas de pérdidas de carga para tuberías de polietileno calculadas con la fórmula de Darcy-Weisbach.

Debido a que los diámetros nominales de las tuberías de polietileno, a diferencia de las de hierro galvanizado, están referidos a diámetros exteriores existe una gran gama de diámetro internos, dependiendo del espesor de la tubería, los cuales varían de país a país y aún dentro de un mismo país, de una fábrica a otra.

Por todo lo antes expuesto para las tuberías existentes actualmente en el mercado venezolano, se procedió a elaborar unas tablas de pérdidas de carga con el fin de facilitar los cálculos a los proyectistas utilizando la fórmula universal de Darcy-Weisbach.

Los resultados obtenidos mediante las tablas, nomogramas y por la fórmula de Hazen y Williams se chequearon con los obtenidos en pruebas de campo realizadas con tuberías de polietileno.

2. ANTECEDENTES

Las pérdidas de carga por rozamiento continuo en tuberías a presión para conducción del agua pueden determinarse mediante dos grupos de fórmulas fundamentales.

- a) Fórmulas logarítmicas de resistencia.
- b) Fórmulas empíricas exponenciales monomías.

Cualquiera que sea el grupo que se elija para calcular la pérdida de carga debida al rozamiento continuo, resulta imprescindible definir previamente el tipo de flujo que se produce en la tubería en las condiciones del problema que tratamos de resolver. Conviene recordar en este sentido, que existe una

tendencia bastante generalizada a utilizar fórmulas empíricas que solo son válidas para regímenes turbulentos completamente desarrollados (Fórmula de Manning) y en algunos otros casos fórmulas empíricas cuyo campo de aplicación es el del flujo turbulento intermedio (Fórmula de Hazen-Willians, Fórmula de Scimeni, etc).

Las pérdidas de carga dependen principalmente de los siguientes factores:

- Viscosidad
- Rugosidad
- Régimen. NR de Reynolds
- Turbulencia
- Perfil de Velocidad
- Capa límite
- Ecuaciones de resistencia hidráulica

Cuyas características e influencia analizaremos a continuación.

2.1. Viscosidad

La deformación de un fluido viscoso origina un sistema de fuerzas normales y tangenciales en todos los puntos situados en la zona de deformación. Las fuerzas normales vendrán medidas en unidades de presión y las fuerzas tangenciales en unidades de esfuerzo cortante. La resistencia de un cuerpo sólido al esfuerzo cortante depende de su módulo elástico tangencial, la propiedad fluida correspondiente es la viscosidad dinámica (ó también absoluta). Aquí termina, sin embargo, la analogía, ya que en un sólido elástico la deformación terminará cuando se alcance un estado de equilibrio entre las fuerzas externas y la resistencia interna, mientras que en un fluido viscoso la deformación seguira produciéndose siempre que sigan actuando las fuerzas exteriores que la producen. Quiere esto decir que, en un fluido, el criterio primordial de equilibrio de fuerzas no es la magnitud, sino la deformación. El esfuerzo cortante es pues, directamente proporcional a la velocidad de deformación, siendo precisamente la constante de proporcionalidad la viscosidad dinámica del fluido.

2.2. Rugosidad

La pérdida de carga por fricción depende de la rugosidad o lisura de las paredes de la tubería. En ensayos sistemáticos Nikuradse usó una rugosidad artificial de arena. En ella fue el tamaño medio del grano (K) la caracterís

tica principal. Sin embargo las rugosidades reales son muy variadas en tamaño, forma y distribución y poco se asemejan a las rugosidades uniformes de Nikuradse. De un modo poco preciso se habla de rugosidad ondulada, de protuberancias, de cráteres y cavernas, de incrustaciones, de formas redondeadas o angulares (con cantos vivos), de periodicidad o de rugosidad aperiódica (estocásticamente). Pero también se engloban en el coeficiente de rugosidad las pérdidas provocadas por juntas de tubos, que siempre presentan hendiduras o retallos, así como protuberancias de soldaduras.

El problema del proyectista consiste en predecir la rugosidad de la tubería. En ella es influenciada por la manufactura y el material de esta y es modificada con el tiempo por la acción del agua.

Hidráulicamente se distingue entre tubos lisos y rugosos según que el tamaño de K de la rugosidad sea menor o mayor que el espesor de la capa límite (). El flujo y la resistencia obedecen a diferentes leyes según nos encontremos con uno u otro caso hidráulico (o la transición entre ellos). La relación $K/$ incide también en el cambio de régimen de laminar a turbulento.

2.3. Régimen laminar y turbulento. Número de Reynolds

Como es sabido el flujo puede ser laminar, crítico ó inestable, turbulento liso, turbulento intermedio y turbulento rugoso (turbulencia plena. Para clasificar acertadamente el tipo de flujo que se origina al transportar agua por una tubería a presión hay que determinar previamente los parámetros adimensionales denominados Número de Reynolds de la corriente (R) y rugosidad relativa de la tubería (K/D)

$$R = \frac{VD}{\nu}$$

donde:

V = Velocidad media del flujo

D = Diámetro interior de la tubería

ν = Viscosidad cinemática del agua que depende de la temperatura

K = Rugosidad absoluta de la tubería

La pérdida de carga unitaria J debida al rozamiento continuo en régimen permanente viene dada por la fórmula universal de Darcy-Weisback

$$J = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

En todas las investigaciones es el perfil de velocidad la meta principal de las mediciones, aparte de las presiones, ya que este permite conocer y analizar el fenómeno para generalizar y extrapolar los resultados.

2.6. Capa límite

Puede suponerse que la mayor parte de la deformación viscosa viene a concentrarse en lo que Prandtl llama capa límite, es decir una zona relativamente estrecha de corriente, situadas en las inmediaciones del contorno. Por lo tanto si el número de Reynolds es suficientemente alto (como es el caso en la mayoría de los problemas de ingeniería), la red de corriente podrá aun usarse para señalar los aspectos aceleradores del movimiento del fluido, mientras que los aspectos viscosos podrán determinarse mediante el estudio del movimiento en la capa límite tan solo.

2.7. Ecuaciones de resistencia hidráulica

2.7.1. Fórmulas logarítmicas de resistencia

Fórmula universal

La fórmula de Darcy Weisbach para la pérdida de energía mecánica en flujo permanente de un fluido en una tubería es apta para los cálculos de tuberías la forma siguiente:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

siendo:

- h_f = La pérdida de energía en la tubería
- L = Longitud de la tubería
- D = Diámetro interno
- V = Velocidad media
- f = Coeficiente de rozamiento

Todas las magnitudes de la ecuación anterior excepto f , pueden medirse experimentalmente.

El coeficiente f debe determinarse de tal manera que la ecuación (1) dé, la pérdida de energía, por consiguiente f no puede ser una constante, sino que debe depender de la velocidad V , del diámetro D , de la densidad ρ , de la viscosidad μ y de cierta característica de la rugosidad de la pared que se designa

na con la letra K.

$$f = f(V, D, \mu, \rho, K)$$

Como f es un factor sin dimensiones debe depender de varios parámetros sin dimensiones formados agrupando convenientemente estas magnitudes.

$$f = f\left(\frac{VD}{\mu}, \frac{K}{D}\right) = f\left(R, \frac{K}{D}\right)$$

2.7.1.1. Variaciones de f con el número de Reynolds

a) Para el flujo laminar, la pérdida de carga viene dada por la ecuación de Hagen-Poiseuille:

$$p_1 - p_2 = hf = \frac{32 \mu VL}{D^2} \times \frac{2LV}{2LV} = \frac{64 \mu}{VD} \frac{L}{D} \frac{LV^2}{2}$$

$$hf = \frac{64 \mu}{VD} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$\text{luego } f = \frac{64}{R}$$

b) Para el flujo turbulento en tuberías rugosas ó lisas las leyes de resistencia universales pueden deducirse a partir de:

$$\sqrt{\frac{L_0}{\rho}} = V \sqrt{\frac{f}{8}}$$

Para régimen turbulento en tuberías lisas con valores de R , entre 3000 y 10^5 la ecuación del coeficiente de resistencia deducida por Karman-Prandtl es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log R \sqrt{f} - 0.8 \quad (2)$$

Dentro de este rango de Reynolds, Blasius ha sugerido una primera aproximación para el coeficiente de fricción f igual a:

$$f = \frac{0.316}{R^{0.25}} \quad (3)$$

- c) Para flujo turbulento en tuberías rugosas con valores de Reynolds mayores que 10^5

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{K}{3.71D} \quad (4)$$

Considerándose una primera aproximación para f igual a

$$f = \frac{0.13}{R^{0.172}} \quad (5)$$

- d) Para régimen turbulento y cualquier tipo de tubería la ecuación que se considera como la mas aceptable es la de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left[\frac{2.51}{R \sqrt{f}} + \frac{K}{3.71 D} \right] \quad (6)$$

Se observa que para tuberías lisas en las que el valor de $\frac{K}{D}$ es muy pequeño, puede despreciarse el segundo término entre corchetes en este caso la ecuación (6) y la ecuación (2) son análogas. Del mismo modo para números de Reynolds muy elevados, el primer término entre corchetes de la ecuación (6) es despreciable; en tales casos la viscosidad no influye prácticamente y f depende tan solo de la rugosidad relativa de la tubería, asemejándose entonces la ecuación (6) a la (4).

Una ecuación de esta naturaleza es compleja para que pueda utilizarse corrientemente. Por lo cual se ha recurrido a representarla mediante un gráfico en función de f y R , el cual es conocido como diagrama de Moody (1944) y actualmente con el uso generalizado de las computadoras se ha facilitado la elaboración de tablas para su resolución.

Otra alternativa para resolver esta ecuación es utilizando la fórmula de Jain en la cual f se encuentra en forma explícita siendo su grado de exactitud bastante confiable a niveles prácticos.

La fórmula para el caso de régimen turbulento en tuberías lisas es:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.8 \log R - 1.5146$$

la cual presenta un error máximo de \pm el 1% con respecto a la fórmula original de Karman Prandtl para valores del número de Reynolds entre 5000 y 10^8 .

Para el caso de régimen turbulento en tuberías rugosas:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log \left(\frac{K}{D} + \frac{21.25}{R \cdot 0.9} \right)$$

que presenta un error máximo de \pm 1% respecto a la fórmula de Colebrook-White para el campo de aplicación definido por $5000 < R < 10^8$ siendo éste error máximo de solo \pm 0.5% en los valores mas normales $10^4 < R < 10^7$.

2.7.2. Fórmulas empíricas exponenciales monomias

Aunque las fórmulas logarítmicas tienen una mayor precisión que las fórmulas empíricas que veremos a continuación, sin embargo algunas de estas, cuya utilidad ha sido constatada por la experiencia de muchos años, permiten al ingeniero resolver con gran simplicidad y con la suficiente aproximación los problemas a que nos estamos refiriendo siempre que se utilicen dentro de la gama de valores experimentales y condiciones de flujo en que se obtuvieron.

Dichas fórmulas responden a la expresión general:

$$J = C D^{-\alpha} Q^{\beta} = m Q^{\beta}$$

es decir que J es proporcional a la V^{β} en donde β tienen valores comprendidos entre $1,75 \leq \beta \leq 2,000$

Las unidades son:

$$J = m/m$$

$$D = m$$

$$Q = m^3/\text{seg}$$

2.7.2.1. Para régimen turbulento listo ($3000 \leq R \leq 10^5$)

a) Fórmula de Blasius (1911)

Sustituyendo el valor de f de la primera aproximación de Blasius.

$$f = \frac{0.3164}{R^{0.25}}$$

en la ecuación de Darcy Weisbach y con valores de viscosidad correspondiente a 10°C y 20°C nos quedarían las expresiones siguientes:

$$J = 0.0246109 D^{-4.75} Q^{1.75} \gamma^{0.25}$$

$$J = 0.00083 D^{-4.75} Q^{1.75} \quad (T = 10^\circ\text{C})$$

$$J = 0.00078 D^{-4.75} Q^{1.75} \quad (T = 20^\circ\text{C})$$

b) Fórmula de Cruciani - Margaritora (1950)

$$J = 0.00099 D^{-4.75} Q^{-1.75}$$

c) Fórmula de Genie Rural

$$J = 0.000831 D^{-4.75} Q^{1.75} \quad (T = 10^\circ\text{C})$$

d) Fórmula de Thison (1978)

$$J = 0.000825 D^{-4.75} Q^{1.75}$$

e) Fórmula Fair - Wipple - Hsiao (1930)

$$J = 0.000874 D^{-4.75} Q^{1.75} \quad (\text{Para agua fría})$$

$$J = 0.000704 D^{-4.75} Q^{1.75} \quad (\text{Para agua caliente})$$

Como se puede observar todas éstas fórmulas son prácticamente la misma fórmula de Blasius pero tomando valores de viscosidad para diferentes temperaturas.

2.7.2.2. Para régimen turbulento intermedio

a) Fórmula de Hazen - Williams (1903)

$$V = 0.3545 C D^{0.63} J^{0.54}$$

en función de Q sería: $J^{0.54}$
 $Q = 0.2784 C D^{2.63} J^{0.54}$

Es de hacer notar que existe una gran variación en los coeficientes numéricos de ésta fórmula de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada, es por ello que fue necesario hacer un análisis dimensional a la fórmula original en unidades inglesas para determinar cual era la constante.

b) Fórmula de Scimemi: para tuberías de asbesto-cemento

$$Q = 48,3 D^{2,68} J^{0,56}$$

c) Fórmula de Veronese - Datei: para tuberías de P.V.C.

$$J = 0,00092 D^{-4,80} Q^{1,80}$$

d) Fórmula de Scobey: Muy utilizada para el cálculo de tuberías en Riego por aspersión

$$J = 4,098 \times 10^{-3} K D^{-4,9} Q^{1,9}$$

2.7.2.3. Para régimen turbulento rugoso

Fórmula de Manning: Usualmente adopta la expresión

$$J = 10,3 n^2 D^{-5,33} Q^2$$

Para la simplificación de algunas de éstas fórmulas, sobre todo la de Hazen Williams se han elaborado ábacos, nomogramas y reglas de cálculo las cuales son ampliamente difundidas por los fabricantes de tuberías de diferentes materiales.

3. METODOLOGIA

3.1. Análisis de nomograma y reglas de cálculo. Fórmula de Hazen-Williams

Existen nomogramas y reglas de cálculo elaborados por diferentes casas comerciales, para facilitar la resolución de las pérdidas de carga de sus tuberías, basados en la ecuación de Hazen Williams. A todos esos nomogramas se les analizó su rango de aproximación, con respecto a la Fórmula de Darcy-Weisbach de acuerdo con los siguientes criterios:

a) Se dividieron los diámetros internos en dos grupos

a) $D_{int} < 50 \text{ mm}$

b) $D_{int} > 50 \text{ mm}$

ésto debido a que Hazen y Williams obtuvieron los valores de los coeficientes de rugosidad experimentando con tuberías de diámetros superiores a 50 mm (disponibles para la época) y se quiere constatar la validez de ésta ecuación para diámetros inferiores a 50 mm.

b) Se tomaron valores de Reynolds en los siguientes rangos

a) $R \leq 2000$

b) $2000 < R \leq 10^5$

c) $R > 10^5$

c) Se estudio también la correlación para el caso de diámetros menores o iguales a 50 mm y diámetros mayores de 50 mm con cada uno de los diferentes rangos de número de Reynolds.

d) Se consideraron valores de $C = 140$ y $C = 150$, correspondiente a tuberías de polietileno y polivinilo.

e) La fórmula de Hazen Williams expresada en función de las pérdidas de carga y en unidades métricas es:

$$J = 10.6489 Q^{1.85} C^{-1.85} D^{-4.87}$$

3.2. Criterios para la elaboración de las tablas de pérdida de carga

Se elaboró mediante el uso del computador unas tablas de pérdida de carga utilizando la formula de Darcy - Weisbach de acuerdo con los siguientes criterios:

a) Para el cálculo de las pérdidas de carga se utilizó la fórmula de Darcy Weisbach.

$$S = 10^3 f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

donde:

S = Pérdida de carga en m por 100 m de longitud de tubería

f = Factor de rozamiento

L = Longitud de la tubería = 100 m

D = Diámetro interior en mm

V = Velocidad del fluido en m/seg.

g = Aceleración debida a la gravedad en m/seg^2

- b) El factor de fricción o rozamiento - f - se calculó mediante la fórmula de Colebrook White para régimen turbulento:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log. \left[\frac{2.51}{R \sqrt{f}} + \frac{K}{3.71D} \right]$$

- c) Para la obtención de los números de Reynolds, se consideró la viscosidad cinemática correspondiente a una temperatura de 20°C, para mantener uniformidad de criterios con respecto a tablas similares y poder de esta manera compararlas; siendo éste igual $0.975 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{seg}$. Por otra parte según experiencias de campo, en las conducciones, la temperatura del agua normalmente está en el rango de 35 a 45°C estando las mínimas temperaturas conseguidas alrededor de 25°C.
- d) El coeficiente de rugosidad absoluta K se tomó igual a 0.00001 metros valor correspondiente para tuberías de polietileno y policloruro de vinilo.
- e) La escala de caudales de cada grupo de cinco diámetro se inició en base a aquel caudal que arrojase una velocidad igual ó mayor que 0.05 m/seg. ó una pérdida de carga igual ó mayor del 0.05%. El valor tan bajo de velocidad se consideró para poder cubrir las situaciones contempladas en los sistemas de microirrigación.

Para finalizar dicha escala se eligió aquel caudal que para el mayor diámetro de cada grupo produzca una velocidad mayor de 5 m/seg. ó una pérdida de carga mayor del 50%.

Se utilizaron incremento de caudales de acuerdo con la siguiente escala

Q l/s	ΔQ
≤ 0.5	0.003
0.50 - 1.00	0.050
1.00 - 5.00	0.100
5.00 - 10.00	0.500
> 10.00	1.000

3.3. Pruebas de Campo

Con el objeto de evaluar los resultados de las tablas y nomogramas se realizaron unas pruebas de campo, utilizando tuberías de diferentes fábricas solo para diámetros inferiores a 50 mm, debido a limitaciones presupuestarias.

Como se observa en el cuadro Nº 1, las temperaturas del agua fluctúan entre 25°C y 40°C. El valor mínimo medido es el que se presenta usualmente en los países tropicales, en horas de la madrugada llegando a conseguir temperaturas máximas de hasta 60°C en las primeras horas de la tarde en días soleados. A pesar de que los días en que se realizaron las pruebas fueron muy nublados se midieron temperaturas máximas de 40°C.

Con relación a la temperatura a considerar para el cálculo de las pérdidas de carga se tomó la de 20°C siendo éste valor el más desfavorable, es decir el que produce valores mayores de pérdidas de carga y por el hecho de que la mayoría de las tablas y nomogramas conocidas, están elaboradas para esta temperatura.

Análisis de los resultados

Los resultados se analizaron mediante dos criterios:

- Bondad de ajuste de los valores calculados y los valores medidos.
- Determinación del porcentaje que representan los valores calculados con los valores medidos, considerando un margen de $\pm 5\%$ como el aceptable debido a que éste es el error premisible del equipo de medición utilizado.

CUADRO Nº 3
ANÁLISIS DE RESULTADOS

	HW (140)	HW (150)	D-W
$(x_f - X_m)^2$	267.9	54.114	29.942
%	113.18	99.66	104.82

Estos porcentajes son los promedios de las 26 observaciones del Cuadro Nº 1; considerando el 100% para los valores medidos.

Como se observa en el Cuadro Nº 3 la fórmula de Darcy Weisbach es la que presenta la mínima diferencia al cuadrado, siendo por lo tanto la que más se ajusta bajo éste criterio. Por otra parte está dentro del rango de porcentaje permitido (95% - 105%).

La fórmula de Hazen - Williams para un coeficiente $C = 140$ se descarta dentro de los dos criterios asumidos porque la sumatoria de las diferencias al cuadrado es casi 10 veces mayor que las obtenidas para Darcy Weisbach y el porcentaje es superior a 105%.

La fórmula de Hazen Williams para un $C = 150$ de acuerdo al criterio de porcentajes se puede considerar igualmente válida que la de Darcy - Weisbach ya que el mismo cae dentro del rango de tolerancia; pero en cuanto a la bondad de ajuste de los datos resulta prácticamente el doble que la obtenida para la fórmula de Darcy Weisbach.

CONCLUSIONES

1. Para el caso de diseños a nivel de anteproyecto o primeras estimaciones es in diferente utilizar la fórmula de Hazen - Williams con un $C = 150$ ó Darcy-Weisbach.
2. La fórmula de Hazen - Williams con un $C = 140$ no debe utilizarse.
3. De todas las fórmulas analizadas la que mejor se ajusta a los valores medidos es la de Darcy - Weisbach.
4. Por haberse concluido que la fórmula de Darcy - Weisbach es la que mas se ajusta a los valores medidos y debido a que su cálculo requiere un proceso de tanto se elaboraron unas tablas mediante el uso del computador que facilitan su utilización

PERDIDA DE CARGA PARA DIAMETROS MENORES DE 50 mm

DIV (mm)	Q(l/s)	t°C	(m ² /seg)	Re	S (m/100 m)			Medida
					H-W(140)	H-W(150)	D-W f	
22	0,0834	35	0.7265x10 ⁻⁶	6626.92	91.19	78.57	0.385	0.420
	0,0770	35	"	6118.38	94.57	82.86	0.335	0.350
	0,0624	35	"	4958.27	106.670	95.24	0.234	0.210
	0,0510	35	"	4052.43	110	100	0.165	0.140
	0,8760	26	0.864x10 ⁻⁶	58529.04	114.25	101	24.772	25.900
20	0,7360	26	"	49175.08	151.09	132.98	18.185	14.250
	0,5840	26	"	39019.36	111.43	98.02	12.086	12.600
	0,0830	36	0.7265x10 ⁻⁶	7254.65	86.29	75.71	0.599	0.700
	0,0707	36	"	6179.56	128.90	114.29	0.454	0.350
	0,0622	36	"	5436.61	101.01	88.57	0.364	0.350
13	0,0507	36	"	4431.45	86.79	75	0.257	0.280
	0,7460	33	0.765x10 ⁻⁶	61922.88	132.03	116.20	28.667	26.600
	0,6250	33	"	51879.09	124.68	109.75	20.936	20.300
	0,4950	33	"	41088.24	117.43	103.36	13.802	14.000
	0,222	27	0.864x10 ⁻⁶	25101.50	120.63	106.15	26.901	25.200
12,5	0,190	27	"	21483.26	120.58	106.14	20.425	18.900
	0,150	27	"	16960.47	116.83	102.78	13.527	12.600
	0,045	27	"	5291.67	109.77	96.57	2.022	1.750
	0,050	26	"	5879.63	132.57	116.67	2.411	2.100
	0,064	41	0.657x10 ⁻⁶	9897.11	131.61	115.71	3.439	2.800
10,5	0,055	26	0.864x10 ⁻⁶	7699.52	103.30	90.95	6.475	6.300
	0,047	38	0.684x10 ⁻⁶	8311.06	99.31	87.35	4.637	4.900
	0,039	38	"	6896.41	98.43	86.57	3.368	3.500
	0,127	34	0.765x10 ⁻⁶	20079.68	122.71	107.50	27.013	26.250
	0,105	35	"	16601.31	114.80	101.28	19.389	19.600
	0,083	41	0.657x10 ⁻⁶	15280.13	115.87	101.98	12.331	12.600

DI = Diámetro interno
 Q = Caudal en (l.p.s.)
 t = Temperatura en °C
 Re = Número de Reynolds
 HW(140) = Fórmula de Hazen-Williams con C = 140
 HW(150) = Fórmula de Hazen-Williams con C = 150
 D-W = Fórmula de Darcy Weisbach
 Medida = Medida de carga - Medida en campo

PERDIDAS DE CARGA TUBERIAS POLIETILENO

(DIAMETROS MAYORES DE 50 mm)

CUADRO No 2

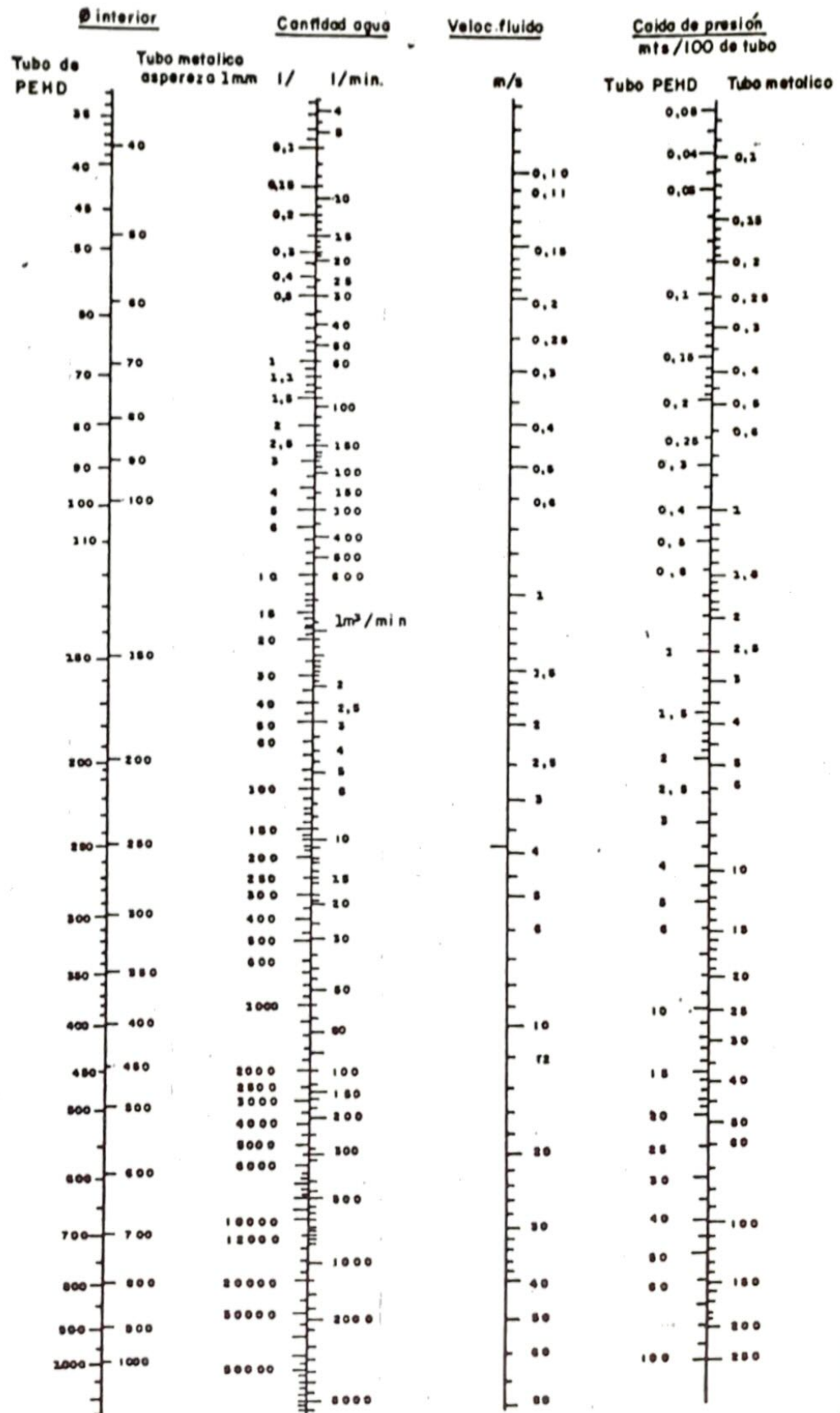
DI mm	Q (l.p.s)	Re	S (m/100m)				
			H-W(140)	H-W(150)	Nomogramas	Regla calculo	D-W
51.40	0.234	5952.69	0.041	0.036	0.047	-	0.046
	3.901	99258.99	7.555	6.650	6.000	6.500	6.324
	10.001	254566.94	43.118	37.951	35.000	-	34.310
90.00	1.102	16004.11	0.048	0.042	0.045	-	0.048
	1.602	23266.94	0.095	0.084	0.090	0.075	0.092
	6.502	94444.56	1.270	1.118	1.050	1.000	1.080
	10.000	145284.39	2.817	2.480	2.400	2.300	2.356
	20.000	290550.31	10.156	8.939	8.200	8.500	8.140
204.40	31.092	450341.89	22.850	20.112	15.000	-	18.095
	10.041	64216.02	0.052	0.046	0.050	-	0.047
	15.041	96177.13	0.110	0.097	0.130	0.900	0.095
	79.041	505501.77	2.377	2.092	2.100	1.950	1.907
290.40	164.041	1049113.43	9.175	8.075	7.600	7.500	9.334
	29.000	130799.26	0.067	0.059	0.060	0.055	0.058
	60.000	270364.19	0.258	0.227	0.240	0.220	0.212
	100.000	450418.15	0.664	0.584	0.600	0.560	0.539
	330.00	1485750.80	6.045	5.321	4.800	4.800	5.570
332.80	37.015	145386.45	0.054	0.048	0.049	-	0.047
	128.015	502821.85	0.540	0.475	0.470	-	0.438
	255.015	1001680.16	1.932	1.701	1.690	-	2.050
	421.015	1653715.32	4.885	4.300	4.000	-	4.332

NOTA:

- DI = Diámetro interno en mm
 Q = Caudal en l.p.s.
 RC = Número de Reynolds (adimensional)
 H-W(140) = Fórmula de Hazen-Williams para C = 140
 H-W(150) = Fórmula de Hazen-Williams para C = 150
 Nomogramas = Calculadas por nomogramas
 RC = Calculada con regla cálculo
 D-W = Fórmula de Darcy-Weisbach

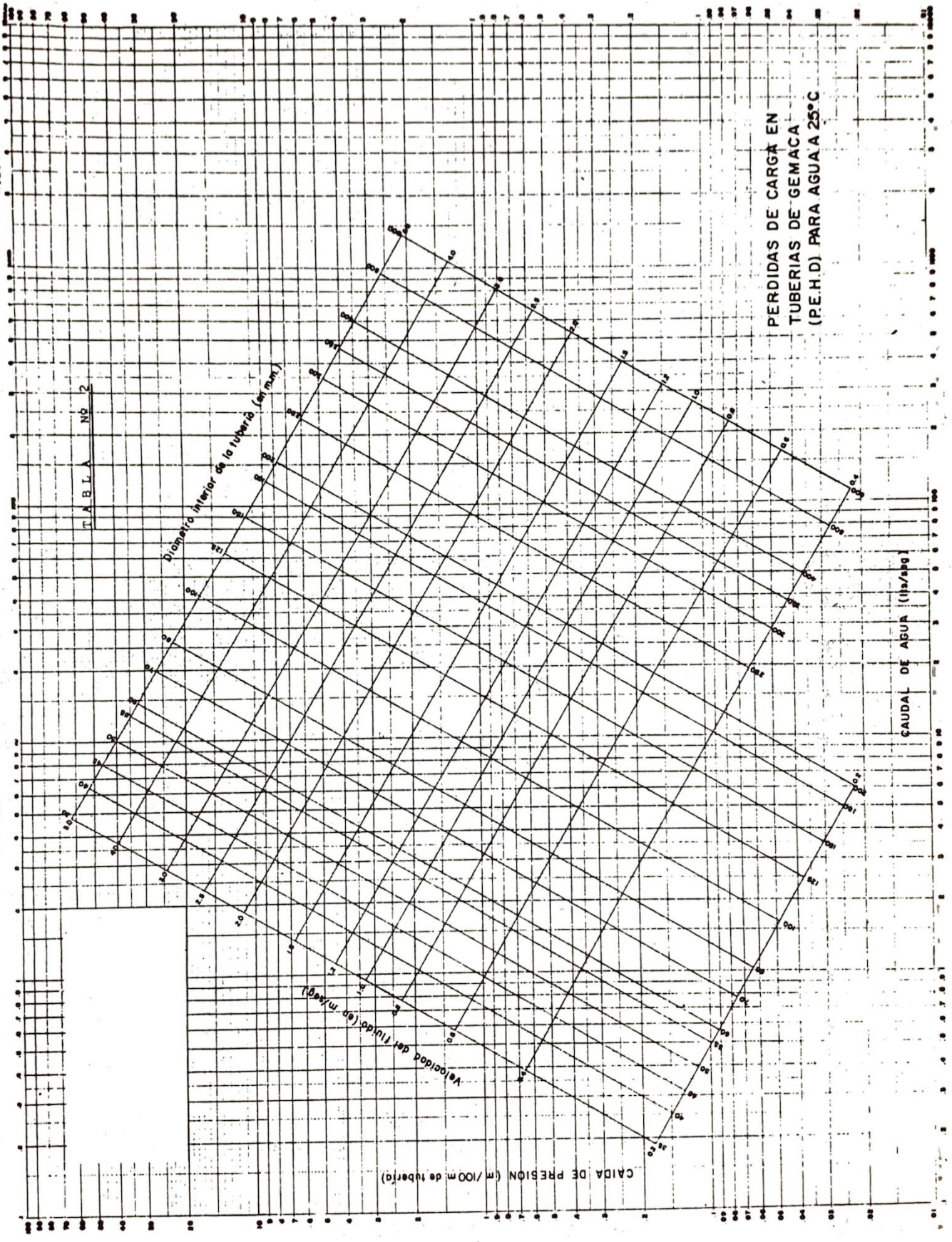
T A B L A N O 1

TABLA DE FRICCIÓN PARA TUBOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEHD)



TA B L A N O 2

PERDIDAS DE CARGA EN TUBERIAS DE GEMACA (P.E.H.D) PARA AGUA A 25°C



BIBLIOGRAFIA

1. ACOSTA ALVAREZ, De Azevedo Nelto. "Manual de Hidráulica". Editorial Harla. México. D.F. 1976.
2. BOLINAGA, Juan. "Drenaje Urbano". Editorial Génesis. Caracas. 1979.
3. BRATER ERNEST, King Herace "Manual de Hidráulica" Uteha. México, 1962.
4. Comisión de Estudios de la Instrucción sobre riego a presión "Memoria de Riego Localizado". Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Madrid España. Junio 1980.
5. GOMEZ POMPA, Pedro. "Riegos a Presión, aspersión y Goteo". Editoria Aedos. Barcelona. España, 1975.
6. GUILLES, Ranald V. "Mecanica de los Fluidos e hidráulica." Colección Schaum. Editorial McGraw Hill. 1976.
7. KELLER, J. y RODRIDO, J. "Cálculo de tuberías laterales en instalaciones de Riego por goteo". Trabajo en presan. Octubre, 1980.
8. MULLER Werner Herz. "Tuberías a presión" CIDIAT, Mérida 1978.
9. Proceedings of the Second International prip Irrigation Congress. San Diego. California. July 7-14, 1974.
10. ROUSE, Hunter. "Hidráulica Mecanica elemental de Fluidos". Edotial Dossat. México D.F. 1960.
11. RUSSELL. George. "Hidráulica". Editorial CECSA. México. 4a. edición 1974.
12. STRECTER, Victor. "Mecanica de los fluidos". Editorial Mc Grauw Hill. 1976.
13. TORRES SOTELO, José E. "Pérdidas de carga en tuberías a presión". Trabajo mimeografiado. Julio 1980.
14. Prueba Coronel Samuel "Hidráulica" CECSA, México 1979.

RELACION ENTRE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO Y EL CONSUMO
DE AGUA POR LOS CULTIVOS, CON EL DISEÑO HIDRAULICO DE LOS
SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO.

ING. Y M.C. EFREN PEÑA PEÑA

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION

CHAPINGO, MEXICO

MAYO 1981

RELACION ENTRE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO Y EL CONSUMO DE AGUA POR LOS CULTIVOS,
CON EL DISEÑO HIDRAULICO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO.

* ING. Y M.C. EFREN PEÑA PERA

1. RESUMEN.

Se analizaron las funciones que representan los movimientos del agua en el suelo, tanto de infiltración como capilar, para establecer un criterio que permita seleccionar el gasto de operación de los goteros. Por otra parte, se propone un método de procesamiento de datos de evaporación del agua, que permita predecir el máximo consumo de agua al 80% de probabilidad.

Por último, dependiendo del personal disponible, se determina el tiempo de riego de acuerdo con los horarios de trabajo y al tipo de fuente de abastecimiento.

Con esta información se garantiza el funcionamiento hidráulico eficiente con la mínima inversión en adquisición y operación de los sistemas de riego por goteo.

El trabajo incluye ejemplos para mostrar la utilidad del método de procesamiento de datos propuesto.

* Profesor Investigador del Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, México.

RELACION ENTRE LAS CARACTERISTICAS DEL SUELO Y EL CONSUMO DE AGUA POR LOS CULTIVOS,
CON EL DISEÑO HIDRAULICO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO.

* ING. Y M.C. EFREN PEÑA PEÑA

1. RESUMEN.

Se analizaron las funciones que representan los movimientos del agua en el suelo, tanto de infiltración como capilar, para establecer un criterio que permita seleccionar el gasto de operación de los goteros. Por otra parte, se propone un método de procesamiento de datos de evaporación del agua, que permita predecir el máximo consumo de agua al 80% de probabilidad.

Por último, dependiendo del personal disponible, se determina el tiempo de riego de acuerdo con los horarios de trabajo y al tipo de fuente de abastecimiento.

Con esta información se garantiza el funcionamiento hidráulico eficiente con la mínima inversión en adquisición y operación de los sistemas de riego por goteo.

El trabajo incluye ejemplos para mostrar la utilidad del método de procesamiento de datos propuesto.

* Profesor Investigador del Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, México.

2. INTRODUCCION.

2.1. PROBLEMA.

Se ha divulgado que el riego por goteo se puede aplicar en cualquier tipo de suelo, sin embargo no se ha dado a conocer como escoger el gasto de los goteros en función del tipo de suelo. Por lo anterior, es fácil encontrar sistemas de riego por goteo con encharcamientos que impiden obtener las condiciones de aereación y eficiencia de aplicación del agua que deben generarse con el riego por goteo.

Las diferentes características de los cultivos y de los climas en los continentes, causan requerimientos variables de agua por los cultivos que deben satisfacerse con los sistemas de riego.

El gasto del gotero está relacionado con el consumo de agua por el cultivo, con el tiempo de operación y con la velocidad de infiltración del agua en el suelo.

2.2. IMPORTANCIA.

Al diseñar técnicamente los sistemas de riego, se utilizan gastos por gotero para proyecto, que deben estar de acuerdo con las características del suelo que se regará y no de acuerdo con el gasto que recomiende un agente de ventas de una compañía, sin el apoyo técnico necesario.

2.3. OBJETIVOS.

- A. Encontrar un método sencillo de uso de la velocidad de infiltración del agua en el suelo para detectar si pueden presentarse encharcamientos.

- B. Hallar la forma de aplicar la característica de capilaridad del agua -- del suelo, para determinar el espaciamiento entre goteros y/o el número - de emisores por instalar.
- C. Proponer un método de procesamiento de datos de evaporación del agua, -- para calcular el consumo de agua por el cultivo.

3. REVISION BIBLIOGRAFICA.

3.1. INFILTRACION.

Al tratar el tema de infiltración del agua en el suelo Sampat A. Gavande (1976) entre otras consideraciones, indica que:

La cantidad de agua que se infiltra en un suelo, en cada unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, disminuye conforme aumenta la cantidad de agua - que ya ha entrado en el.

También propone utilizar el modelo:

$$I = Kt^n$$

I = Velocidad de infiltración

t = Tiempo

K = Infiltración para el primer intervalo de tiempo unitario.

n = Indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el -- tiempo.

Utilizando transformación logarítmica de datos para ajustar a una recta.

En caso de que las observaciones de la infiltración se refieran a períodos largos, propone representar más adecuadamente los datos utilizando la ecuación:

$$l = Kt^n + b$$

La velocidad "l" tenderá a "b", cuando el tiempo aumente.

3.2. CAPILARIDAD.

Al tratar sobre capilaridad Kleiber y Karsten (1959) indicaron que:

"Cohesión es la fuerza que mantiene unidas entre sí, las moléculas de un cuerpo".

"Adherencia es la atracción que se ejerce entre las superficies en contacto, de dos cuerpos diferentes".

"Si el extremo de un tubo capilar (diámetro comparable al de un cabello) se introduce a un líquido que moje la sustancia del tubo, el líquido sube en el interior del tubo. A esta propiedad se le designa capilaridad".

"A esto se debe la subida del aceite por las mechas de las lámparas, de la tinta en el papel secante y del café en un terrón de azúcar".

CAPILARIDAD

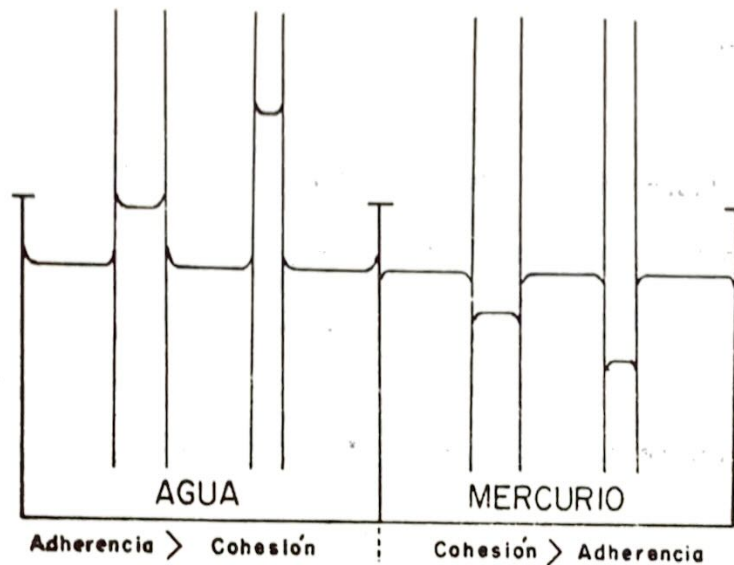


Fig. 1. CAPILARIDAD

Por otra parte Ronald V. Giles (1979) indica:

"A tensión superficial de un líquido es el trabajo que debe realizarse para llevar las moléculas desde el interior del líquido hasta la superficie, para crear una nueva unidad de superficie".

"La elevación o descenso de un líquido en un tubo capilar (o en situaciones físicas análogas, tales como en medios porosos) vienen producidos por la tensión superficial, dependiendo de las magnitudes relativas de la cohesión del líquido y de la adhesión del líquido a las paredes del tubo".

"Los líquidos ascienden en tubos que mojan (adhesión mayor que cohesión) y

descienden en tubos que no mojan (cohesión mayor que adhesión)".

3.3. CONSUMO DE AGUA.

Se ha desarrollado un gran número de trabajos de investigación sobre coeficientes que aplicados a la evaporación en tanque estandar tipo "A" estimen el consumo de agua por los cultivos.

Por lo anterior se ha considerado que pueden emplearse las siguientes fórmulas:

$$ETP = 0.8 E_v .$$

ETP = Evapo-transpiración potencial (mm).

E_v = Evaporación en tanque estandar (mm).

$$CA = 0.8 K_c E_v .$$

CA = Consumo de agua por el cultivo (mm).

K_c = Coeficiente de cultivo.

E_v = Evaporación (mm).

4. MATERIALES Y METODOS.

4.1. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION.

Para determinar la velocidad de infiltración se utilizó el método del doble cilindro.

4.2. DETERMINACION DE CAPILARIDAD.

Se trabajó con el método de columnas de suelo en tubos de vidrio, de la siguiente forma:

- A. Se secó el suelo al aire.
- B. Se tamizó.
- C. Se colocó en los tubos de vidrio (aproximadamente de 1.5 cm. de diámetro).
- D. Se colocaron los tubos en charolas con agua (nivel constante).
- E. Se tomaron alturas del frente húmedo a través del tiempo.

4.3. METODOS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.

Se utilizaron los siguiente modelos:

- A. Potencial:

$$y = bx^m$$

- B. Logarítmico:

$$y = b + m \ln t.$$

4.4. DETERMINACION DEL CONSUMO DE AGUA MAXIMO.

Con los datos de evaporación acumulada mensual se obtuvo el límite superior de confianza de la media, al 80% de probabilidad de ocurrencia. Se utilizó el criterio de t(Student) para prueba de una sola cola.

4.5. METODO DE DISEÑO.

Se utilizó la metodología de diseño hidráulico de sistemas de riego por goteo desarrollada en el Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR), publicada en el Boletín Técnico No. 4 de ese centro.

- A. Se determina la pérdida de carga permisible en la unidad de riego.
- B. Se determina el número de goteros que se pueden instalar en una línea -- regante.
- C. Se calcula la pérdida de carga de la línea regante.
- D. Se determina el número de líneas regantes que se pueden instalar en un -- distribuidor.
- E. Se determina la pérdida de carga en el distribuidor.
- F. Se comprueba que la pérdida de carga en la unidad garantice la eficien-- cia de proyecto.

5. RESULTADOS.

5.1. INFILTRACION.

Se obtuvo la velocidad de infiltración del agua en el suelo y la lámina infiltrada acumulada para dos suelos, uno de textura migajón arcilloso y otro de textura migajón arcillo-arenoso.

- A. Suelo migajón arcilloso. En la figura 2 se presentan las curvas de velo-- cidad de infiltración y de lámina infiltrada acumulada, con línea contí--

...nua con datos generados por el modelo obtenido y con cruces los puntos -
obtenidos con los datos de campo.

SUELO: MIGAJON ARCILLOSO

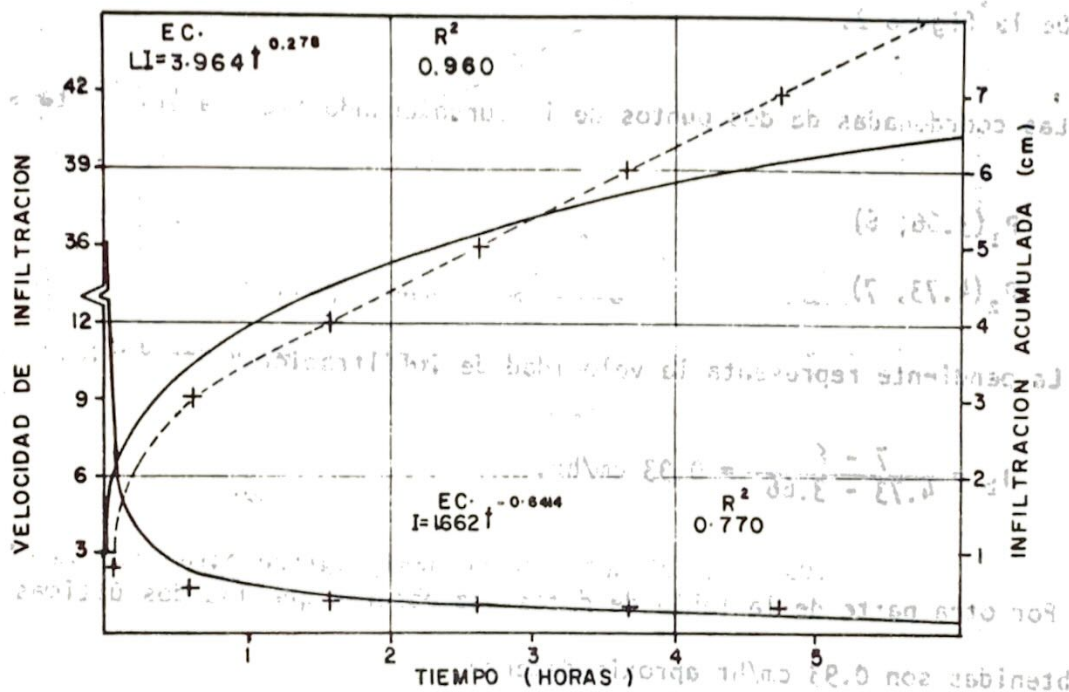


Fig. 2 INFILTRACION DEL AGUA EN EL SUELO

Se observa en la figura 2 que la curva de velocidad de infiltración pasa -
arriba de los centros de las cruces antes de 3 horas de tiempo transcurrido y abajo
de los puntos después de 3 horas. En el caso de la curva de lámina infiltrada acu-
mulada la curva pasa por arriba de los puntos antes de las 3 horas y por abajo des-
pués de las 3 horas transcurridas, aunque en este caso el coeficiente de determina-
ción es 0.960, gráficamente se concluye que el modelo no se ajusta correctamente a
los datos y presenta sesgo en la información generada.

Como en el riego por goteo interesa la velocidad de infiltración básica, - se puede trabajar con los datos de la gráfica para obtenerla o de la tabla correspondiente donde se obtuvo la velocidad de infiltración para cada intervalo de tiempo.

De la figura 2.

Las coordenadas de dos puntos de la curva cuando tiene a ser recta son:

$$P_1(3.66, 6)$$

$$P_2(4.73, 7)$$

La pendiente representa la velocidad de infiltración:

$$I_b = \frac{7 - 6}{4.73 - 3.66} = 0.93 \text{ cm/hr.}$$

Por otra parte de la tabla de datos se observa que las dos últimas velocidades obtenidas son 0.93 cm/hr aproximadamente.

B. Suelo migajón arcillo-arenoso.

Se presentan los resultados en la figura 3. En este caso los puntos de la curva generada pasan muy cerca de la curva (coeficiente de determinación de 0.99).

SUELO: MIGAJON ARCILLO-ARENOSO

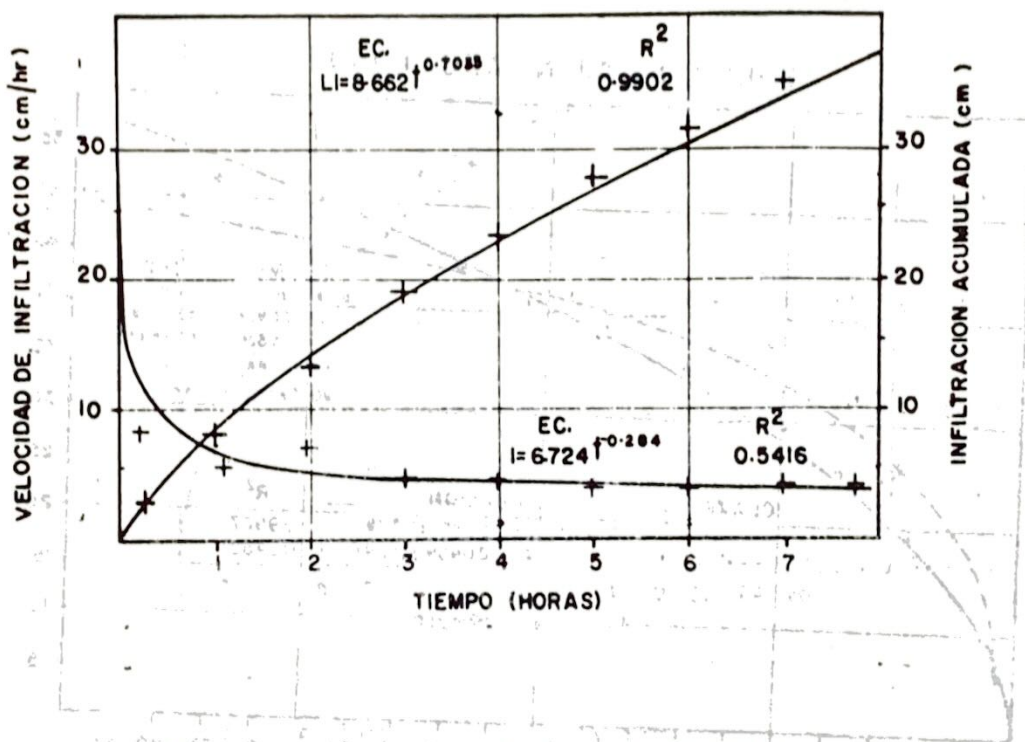


Fig. 3 INFILTRACION DEL AGUA EN EL SUELO.

Trabajando con la curva de lámina infiltrada acumulada:

$$P_1 (6, 31.8)$$

$$P_2 (7, 35.6)$$

$$I_b = \frac{35.6 - 31.8}{7 - 6} = 3.8 \text{ cm/hr.}$$

5.2. CAPILARIDAD.

Los resultados de capilaridad se muestran en las gráficas incluyendo los modelos potenciales y logarítmicos, así como las curvas generadas con ellos. Se presentan los resultados de cuatro suelos con las texturas siguientes: migajón arcillo

so, migajón arcillo-arenoso, arena de vega de río y arena de desierto.

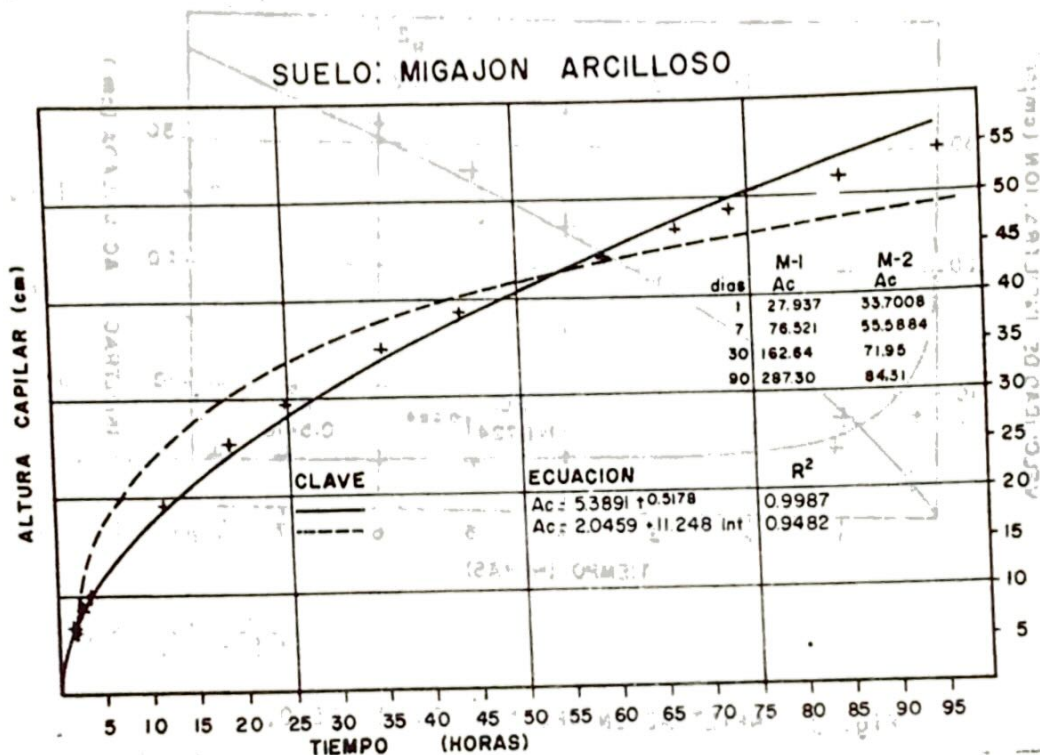


Fig. 4 CURVAS DE CAPILARIDAD EN
MIGAJON ARCILLOSO.

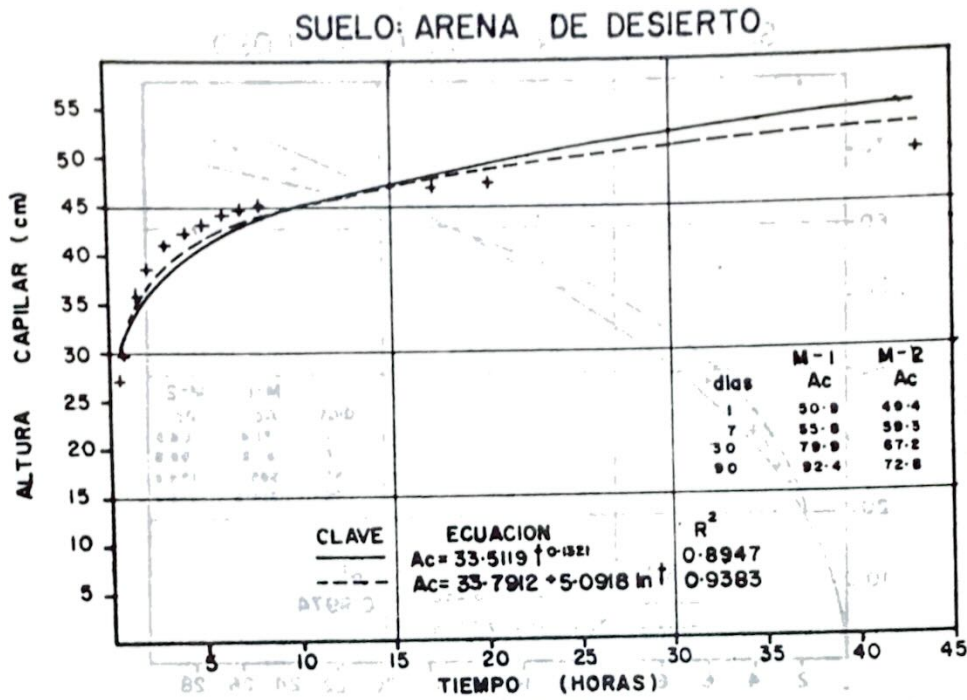


Fig. 7. CURVAS DE CAPILARIDAD EN

ARENA DE DESIERTO.

De las gráficas se puede observar que a las 24 horas la altura capilar que

se obtuvo para los diferentes suelos fue:

- Migajón Arcilloso 29 cm.
- Migajón Arcillo-arenoso 69 cm.
- Arena de río 35 cm.
- Arena de desierto 48 cm.

También se nota que los suelos migajones no tienden a establecer una altura límite dentro del rango de lecturas tomadas. En el caso de las arenas se define claramente el alcance capilar.

La velocidad de ascenso capilar es mayor en los suelos arenosos que en los

migajones.

5.3. CONSUMO DE AGUA MAXIMO.

La evaporación diaria del agua en el tanque estandar varía para cada día (fecha) a través de los años y el 50% de los años será menor que la media y el 50% será mayor. Por esto, es necesario calcular el límite superior de confianza de la media, para asegurar que el 80% de los años el consumo de agua será igual o menor y no crear riesgos en la agricultura de riego.

En la figura 8. Se muestran los datos de evaporación media diaria para un mes a través de los años en tres sitios diferentes de México: Mexicali, Baja California; Chapingo, México y Pabellón, Aguascalientes.

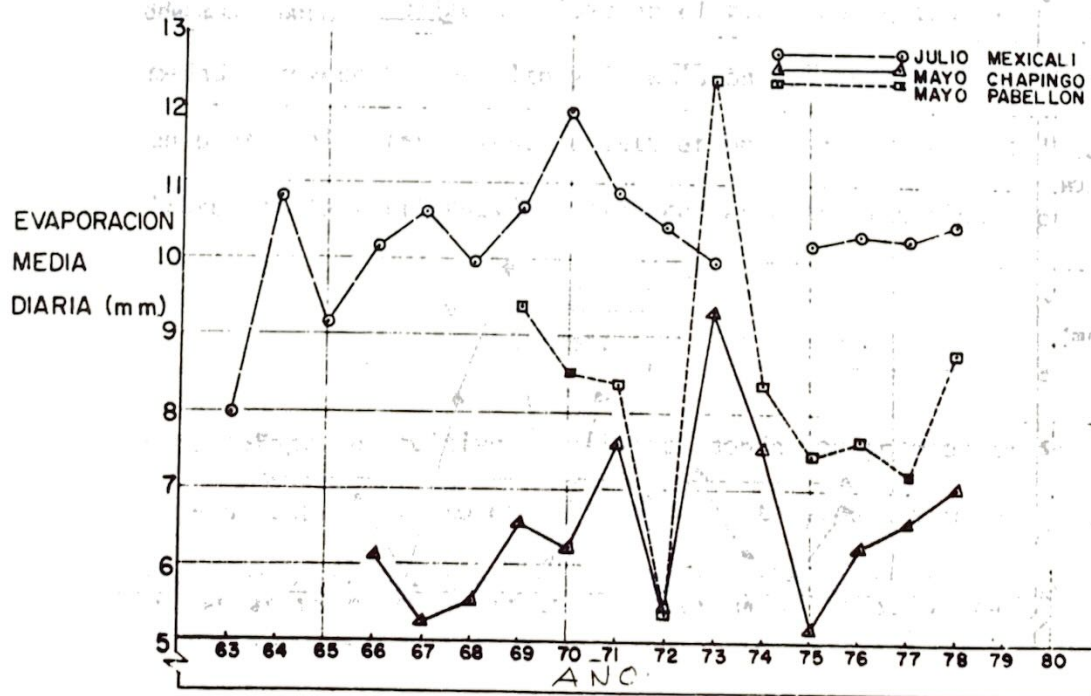


Fig. 8 EVAPORACION DIARIA EN UN MES PARA DIFERENTES AÑOS EN TRES SITIOS.

Considerando la estación meteorológica de Chapingo se tienen los siguientes datos, para evaporación en el mes de mayo (media mensual máxima).

$$\bar{x} = 6.53 \text{ mm/dfa}$$

$$n = 13$$

$$S = 1.15858$$

$$\alpha = 80\%$$

$$t_{\alpha} = 0.87$$

$$L.S. = \bar{x} + t_{\alpha} \times \frac{S}{\sqrt{n-1}}$$

$$L.S. = 6.53 + 0.87 \times \frac{1.15858}{\sqrt{13-1}}$$

$$L.S. = 6.81 \text{ mm/dfa.}$$

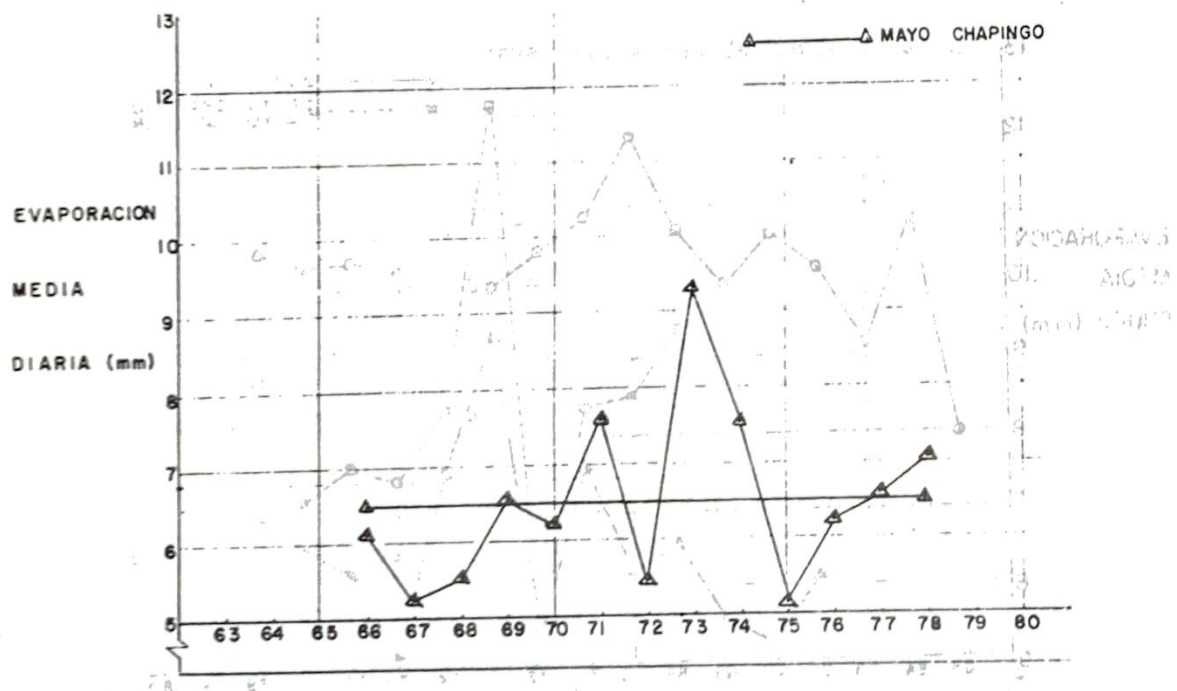


Fig. 9. EVAPORACION DIARIA EN EL MES DE MAYO EN LA ESTACION CHAPINGO.

Considerando la fórmula para el cálculo del consumo de agua:

$$CA = 0.8 K_C E_V$$

Se tiene que:

$$E_V = 6.81 \text{ mm/día}$$

$$K_C = 0.825$$

$$CA = 0.8 \times 0.825 \times 6.81$$

$$CA = 4.494 \text{ mm/día.}$$

6. DISCUSION DE RESULTADOS.

6.1. GASTO DE GOTEROS.

A. Suelo migajón arcilloso. Como en el riego por goteo el contenido de humedad aprovechable es alto y la emisión del agua es prácticamente sobre un punto, el gotero tiende a saturar un área de suelo; tal que se equilibra con la infiltración básica del agua en el suelo.

$$v = \frac{Q \text{ (cm}^3\text{/hr)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

Considerando un cultivo en hileras, donde los goteros se ponen a 0.5 metros de espaciamiento en la línea regante y de 1.0 m de espaciamiento entre líneas regantes; a cada gotero le corresponde un área de 0.5 m^2 (5 000 cm^2).

La velocidad de infiltración básica obtenida para este suelo fué

$$I_b = 0.93 \text{ cm/hr.}$$

y considerando goteros con gasto de 2 y 4 litros por hora se tiene:

$$A_e = \frac{Q}{V}$$

para $Q = 2\,000 \text{ cm}^3/\text{hr}$:

$$A_{e1} = \frac{2\,000 \text{ cm}^3/\text{hr}}{0.93 \text{ cm/hr}} = 2150.53 \text{ cm}^2$$

El porcentaje de área encharcada será:

$$\%_1 = \frac{A_e}{A_t} \times 100 = \frac{2150.53}{5000.00} \times 100$$

$$\%_1 = 43\%$$

para $Q = 4\,000 \text{ cm}^3/\text{hr}$.

$$A_{e2} = \frac{4\,000 \text{ cm}^3/\text{hr}}{0.93 \text{ cm/hr}} = 4301.07 \text{ cm}^2$$

Luego el porcentaje de área encharcada:

$$\%_2 = \frac{4301.07}{5000.00} \times 100 = 86\%$$

B. Migajón Arcillo-arenoso.

$$I_b = 3.8 \text{ cm/hr.}$$

$$Q_1 = 2\,000 \text{ cm}^3/\text{hr}$$

$$Q_2 = 4\,000 \text{ cm}^3/\text{hr}$$

$$A_{e1} = \frac{2\,000}{3.8} = 526.31 \text{ cm}^2$$

$$\%_1 = \frac{526.31}{5000} \times 100 = 10.5\%$$

$$A_{e1} = \frac{4\,000}{3.8} = 1052.63 \text{ cm}^2$$

$$\%_2 = 21.05 \%$$

Analizando los dos suelos es fácil notar que en el primero no serviría - el riego por goteo a menos que se utilizaran goteros de gastos muy pequeños, puesto que no se puede encharcar más del 10% de la superficie de -- cultivo.

6.2. ESPACIAMIENTO ENTRE GOTEROS.

De las curvas de capilaridad es notable que en las arenas de río y desierto se establece la altura capilar definitiva y si quisiera regarse un cultivo en hileras los patrones de mojado deberían traslaparse para generar una franja de humedecimiento.

Si se quiere regar en la arena de río, deben colocarse los goteros a 50 cm aproximadamente para formar la franja húmeda y a 70 cm aproximadamente en la arena de desierto.

En el caso del suelo migajón arcillo-arenoso se podrían poner los emisores

a 96 cm de espaciamiento. En los tres casos se consideró el 70% del diámetro como traslape.

Para el migajón arcilloso se requiere que se usen los goteros juntos o tubería porosa, de bajo gasto.

6.3. RELACION GASTO DEL GOTERO Y TIEMPO DE RIEGO.

Conociendo el consumo de agua por el cultivo (máximo) y el número de puntos de emisión propuestos, se puede establecer el gasto necesario por gotero.

Ejemplo. Se tiene cultivo de vid con espaciamiento de 3 m entre hileras - de plantas y 1.5 m entre plantas.

El consumo de agua es de 4.5 mm/día.

El área de influencia por planta es de 4.5 m² y si se considera un gotero - por planta, se tiene:

$$\begin{aligned}V_D &= 4.5 \text{ m}^2 \times 0.0045 \text{ m/día.} \\ &= 0.02025 \text{ m}^3/\text{día.} \\ &= 20.25 \text{ l.p.d.}\end{aligned}$$

Para que los sistemas de riego utilicen optimamente el gasto disponible deben considerarse 24 horas de tiempo de riego diario, por lo que se tiene:

$$Q = \frac{V_D}{24} = \frac{20.25}{24} = 0.84375 \text{ l.p.h.}$$

Para regar toda la superficie al mismo tiempo.

Como es un gasto pequeño, si se tienen goteros de 2 o de 4 litros por hora deben instalarse secciones que se riegan en tiempos menores.

Si se riega en dos secciones se regará en doce horas cada una y se tiene:

$$Q = \frac{20.25}{12} = 1.666 \text{ l.p.h.}$$

Si se riega en tres secciones se tiene:

$$Q = \frac{20.25}{8} = 2.531 \text{ l.p.h.}$$

Si se riega en cuatro secciones:

$$Q = \frac{20.25}{6} = 3.37 \text{ l.p.h.}$$

En caso de haber cinco secciones se tendría:

$$Q = \frac{20.25}{4.8} = 4.218 \text{ l.p.h.}$$

Con la curva carga-gasto o con la ecuación del gotero se puede determinar o calcular la carga de operación del gotero de 2 l.p.h. para que opere con 1.66 l.p.h. y el de 4 l.p.h. se puede operar a 3.37 l.p.h.

7. CONCLUSIONES.

7.1. La velocidad de infiltración básica sirve como indicador para detectar don

de puede haber problemas de encharcamiento, y por lo tanto ayuda a seleccionar el gasto.

7.2. La curva de ascenso capilar sirve para determinar el espaciamiento entre goteros y para determinar volúmenes de suelo humedecido y permite escoger el máximo espaciamiento entre goteros, que lleva al mínimo costo de goteros.

7.3. El consumo de agua por el cultivo y el tiempo de operación cada sección de riego permiten obtener alternativas de gastos de goteros, que llevan a costo de adquisición, instalación y operación diferentes. Al determinarlas se selecciona la más económica.

$$0 = \frac{25.25}{2} - 3.27 \cdot 1.6 \cdot h$$

... de las secciones de riego

$$0 = \frac{25.25}{2} - 4.27 \cdot 1.6 \cdot h$$

... de las secciones de riego ... de las secciones de riego ... de las secciones de riego

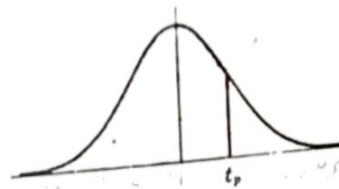
... de las secciones de riego ... de las secciones de riego ... de las secciones de riego

8. BIBLIOGRAFIA.

- A. CENAMAR. Funcionamiento Hidráulico, Diseño y Evaluación de sistemas de riego - por goteo. Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego. SARH. 1979.
- B. Kleiber J. y Karsten B. Dr. Tratado Popular de Física. Editorial Gustavo -- Gili, S. A. 1959. Pág. 35-46.
- C. Murray R. Spiegel. Estadística. Editado por McGraw-Hill Inc. 1969. Colombia.
- D. Sampat A. Gavande. Física de Suelos. Principios y aplicaciones. Editorial Limusa, S. A. México 1976. Pág. 203-207.
- E. Ranald V. Giles. Mecánica de Fluidos e Hidráulica. Serie Schaum. Ediciones y Especialidades impresas. 1979. México, México. Pág. 3-18.

Apéndice III

PERCENTILES (t_p)
DE LA
DISTRIBUCION t DE STUDENT
CON v GRADOS DE LIBERTAD
(AREA SOMBREADA = p)



v	$t_{0.995}$	$t_{0.99}$	$t_{0.975}$	$t_{0.95}$	$t_{0.90}$	$t_{0.80}$	$t_{0.75}$	$t_{0.70}$	$t_{0.65}$	$t_{0.55}$
1	63.66	31.82	12.71	6.31	3.08	1.376	1.000	0.727	0.325	0.158
2	9.92	6.96	4.30	2.92	1.89	1.061	0.816	0.617	0.289	0.142
3	5.84	4.54	3.18	2.35	1.64	0.978	0.765	0.584	0.277	0.137
4	4.60	3.75	2.78	2.13	1.53	0.941	0.741	0.569	0.271	0.134
5	4.03	3.36	2.57	2.02	1.48	0.920	0.727	0.559	0.267	0.132
6	3.71	3.14	2.45	1.94	1.44	0.906	0.718	0.553	0.265	0.131
7	3.50	3.00	2.36	1.90	1.42	0.896	0.711	0.549	0.263	0.130
8	3.36	2.90	2.31	1.86	1.40	0.889	0.706	0.546	0.262	0.130
9	3.25	2.82	2.26	1.83	1.38	0.885	0.703	0.543	0.261	0.129
10	3.17	2.76	2.23	1.81	1.37	0.879	0.700	0.542	0.260	0.129
11	3.11	2.72	2.20	1.80	1.36	0.876	0.697	0.540	0.260	0.129
12	3.06	2.68	2.18	1.78	1.36	0.873	0.695	0.539	0.259	0.128
13	3.01	2.65	2.16	1.77	1.35	0.870	0.694	0.538	0.259	0.128
14	2.98	2.62	2.14	1.76	1.34	0.868	0.692	0.537	0.258	0.128
15	2.95	2.60	2.13	1.75	1.34	0.866	0.691	0.536	0.258	0.128
16	2.92	2.58	2.12	1.75	1.34	0.865	0.690	0.535	0.258	0.128
17	2.90	2.57	2.11	1.74	1.33	0.863	0.689	0.534	0.257	0.128
18	2.88	2.55	2.10	1.73	1.33	0.862	0.688	0.534	0.257	0.127
19	2.86	2.54	2.09	1.73	1.33	0.861	0.688	0.533	0.257	0.127
20	2.84	2.53	2.09	1.72	1.32	0.860	0.687	0.533	0.257	0.127
21	2.83	2.52	2.08	1.72	1.32	0.859	0.686	0.532	0.257	0.127
22	2.82	2.51	2.07	1.72	1.32	0.858	0.686	0.532	0.256	0.127
23	2.81	2.50	2.07	1.71	1.32	0.858	0.685	0.532	0.256	0.127
24	2.80	2.49	2.06	1.71	1.32	0.857	0.685	0.531	0.256	0.127
25	2.79	2.48	2.06	1.71	1.32	0.856	0.684	0.531	0.256	0.127
26	2.78	2.48	2.06	1.71	1.32	0.856	0.684	0.531	0.256	0.127
27	2.77	2.47	2.05	1.70	1.31	0.855	0.684	0.531	0.256	0.127
28	2.76	2.47	2.05	1.70	1.31	0.855	0.683	0.530	0.256	0.127
29	2.76	2.46	2.04	1.70	1.31	0.854	0.683	0.530	0.256	0.127
30	2.75	2.46	2.04	1.70	1.31	0.854	0.683	0.530	0.256	0.127
40	2.70	2.42	2.02	1.68	1.30	0.851	0.681	0.529	0.255	0.126
60	2.66	2.39	2.00	1.67	1.30	0.848	0.679	0.527	0.254	0.126
120	2.62	2.36	1.98	1.66	1.29	0.845	0.677	0.526	0.254	0.126
∞	2.58	2.33	1.96	1.645	1.28	0.842	0.674	0.524	0.253	0.126

Procedencia: R. A. Fisher y F. Yates, *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research* (5.^a edición), Tabla III, Oliver and Boyd Ltd., Edimburgo, con permiso de los autores y editores.

Por: Ing. Lorenzo J. Maldonado Aguirre
Director del Centro de Investigaciones Fo-
restales del Noreste-INIF- México

METODOS DE RIEGO POR DESTILACION SOLAR 3.2.145

LAS ZONAS ARIDAS DE MEXICO SON REGIONES CON UNA -
PRECIPITACION MAXIMA DE 250 mm ANUALES Y EN DONDE LA PRINCIPAL
ACTIVIDAD ES LA DE REALIZAR SIEMBRAS DE TEMPORAL, LA -----
GANADERIA EXTENSIVA Y LA RECOLECCION DE ESPECIES UTILES TALES
COMO LECHUGUILLA Agave lecheguilla, CANDELILLA Euphorbia -----
antisyphilitica, PRINCIPALMENTE; ESTE TIPO DE TRABAJO TIENE POCA -
RENTABILIDAD Y ES NECESARIO INVERTIR MUCHAS HORAS HOMBRE --
PARA REALIZAR LOS PROCESOS DE EXTRACCION CORRESPONDIENTE.

EN ESTE TIPO DE REGIONES EXISTEN SUELOS ALUVIALES -
PERO QUE DEBIDO A LA ESCASEZ DE AGUA NO SE CULTIVAN EN FORMA
ADECUADA, POR LO QUE SE HA TRATADO DE REALIZAR TRABAJOS ----
TENDIENTES AL ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES ECONOMICAMENTE -
RENTABLES COMO ES EL CASO DE ALGUNOS FRUTALES APTOS PARA ---
ZONAS ARIDAS Y SEMIARIDAS; SIN EMBARGO, PARA PODER ESTABLECER
ESTOS FRUTALES, EL PRIMER PROBLEMA CON QUE SE AFRONTA, ES LA
MARCADA ESCASEZ DE AGUA Y CUANDO ESTA EXISTE NORMALMENTE -
POSEE GRANDES CONCENTRACIONES DE SALES Y NO PUEDEN SER --- -
UTILIZADAS PARA TAL FIN; POR LO QUE DE ESA MANERA SE IDEO -----
UTILIZAR UN SENCILLO DISPOSITIVO QUE SE LE HA DENOMINADO COMO
DESTILADOR SOLAR; ESTE DISPOSITIVO SE HA DISEÑADO DE DIFERENTES
FORMAS Y TAMAÑOS PERO CON EL MISMO FIN DE PRODUCIR AGUA Y ----
PODER REALIZAR CULTIVOS DE FRUTALES EN ESTAS INHOSPITAS ---- ..
REGIONES.

ANTES DE INICIAR UNA DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA EMPLEADA, ES CONVENIENTE DESCRIBIR LAS CARACTERISTICAS DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLA LA EXPERIMENTACION CORRESPONDIENTE: EL TRABAJO SE ESTABLECIO EN EL CAMPO EXPERIMENTAL FORESTAL "LA SAUCEDA", COAHUILA, PERTENECIENTE A LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS, Y SE LOCALIZA EN EL MUNICIPIO DE RAMOS ARIZPE, COAHUILA, MEXICO, A 25° 51' DE LATITUD NORTE Y 101° 19' DE LONGITUD AL OESTE DE GREENWICH, A UNA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR 1,008 m; SU TOPOGRAFIA ES PLANA CON PENDIENTE UNIFORME CON EL 1.12 % DE INCLINACION; EL SUELO EN SU CAPA DE 0.30 cm ES DE COLOR CAFE CLARO, DE TEXTURA FRANCO ARENOSA, ESTRUCTURA GRANULAR, DE CONSISTENCIA SUELTA Y CON UN pH DE 7.5

EN SU CAPA DE 30 A 60 cm DE PROFUNDIDAD ES DE COLOR CAFE CLARO, DE TEXTURA FRANCO LIMOSA, CON ESTRUCTURA PRISMATICA, DE CONSISTENCIA FRIABLE Y SU pH ES DE 7.7

DE 60 cm A 1 m, EL SUELO ES DE COLOR CAFE CLARO, DE TEXTURA ARCILLOSA, CON PRESENCIA DE GRAVA, ESTRUCTURA PRISMATICA ANGULAR, DE CONSISTENCIA FRIABLE Y CON UN pH DE 7.8

EL CLIMA DOMINANTE ES EL MUY ARIDO TEMPLADO CON VERANO CALIDO Bwk; CON UNA PRECIPITACION PROMEDIO DE 190 mm AL AÑO; UNA TEMPERATURA MEDIA ANUAL DE 18.9° C; LA TEMPERATURA MINIMA EXTREMA ES DE 14° C BAJO CERO Y LA MAXIMA ABSOLUTA DE 47° C; EL PERIODO LIBRE DE HELADAS,

FLUCTUA ENTRE 7 Y 8 MESES PRESENTANDOSE PRINCIPALMENTE EN DICIEMBRE Y ENERO.

A CONTINUACION SE HACE UNA DESCRIPCION BREVE DE LA METODOLOGIA EMPLEADA Y SUS PRINCIPALES RESULTADOS:

EL DISEÑO EXPERIMENTAL ES EL DE BLOQUES AL AZAR CON 4 REPETICIONES Y 5 TRATAMIENTOS; LOS BLOQUES FUERON 4 ----- VARIEDADES DE DURAZNO (CNF 1, COACALCÓ, LUCERO, SELECCION 100), EN LOS QUE NO SE INFIERE EN ESTA OCASION HASTA QUE SE ---- ANALICE A TRAVES DE CONTRASTES ORTOGONALES; LOS --- ----- TRATAMIENTOS FUERON LOS METODOS DE RIEGO A EXPERIMENTAR Y SON LOS SIGUIENTES:

RIEGO POR DESTILACION SÓLAR INIF
 RIEGO POR DESTILACION SOLAR SARH
 RIEGO POR CAPILARIDAD
 RIEGO POR DESTILACION SOLAR Y GOTEO CEF "LA SAUCEDA"
 TESTIGO (CONTROL)

EL RIEGO POR DESTILACION SÓLAR INIF CONSISTE:

EN HACER UNA EXCAVACION DE 1.30 m DE DIAMETRO EN EL CENTRO DEL CUAL SE HACE UN CEPELLÓN DE 45 cm DE RADIO, QUE ES DONDE SE PLANTA LA EXPECIE FRUTICOLA; SE CIRCUNDA CON UNA ---- ZANJA DE 20 cm DE ANCHO Y 20 cm DE PROFUNDIDAD; EN ESTA ZANJA -- SE COLOCA MATERIAL HIDRATANTE, EN ESTE CASO NOPAL PICADO.

EN LA EXCAVACION SE ACOMODA LA TIERRA EXTRAIDA CON EL FIN DE FORMAR UN BORDO SOBRE EL CUAL SE COLOCA UN -----

POLIETILENO.

DURANTE EL DIA Y DEBIDO A LA INTENSIDAD DE LOS ---
 RAYOS DEL SOL, EL AREA CUBIERTA POR EL POLIETILENO SE ELEVA
 LA TEMPERATURA EN FORMA CONSIDERABLE PROVOCANDO EL -----
 DESPRENDIMIENTO DEL AGUA CONTENIDA EN EL NOPAL PICADO QUE
 SE MANIFIESTA EN FORMA DE VAPOR; DURANTE LA NOCHE, AL ---
 CAMBIAR LA TEMPERATURA, EL ENFRIAMIENTO PROVOCA LA CON--
 DENSACION DEL VAPOR DE AGUA FORMANDO GOTAS EN LA PARTE ---
 INFERIOR DEL POLIETILENO; ESTAS GOTAS DE AGUA DEBIDO A LA ---
 INCLINACION QUE SE LE DA AL POLIETILENO, SE DEPOSITAN EN LA --
 BASE DE LA PLANTA.

EL RIEGO POR DESTILACION SOLAR SARH, ES MUY -----
 PARECIDO AL ANTERIOR, SOLAMENTE SE DIFERENCIA EN QUE EN --
 ESTE SISTEMA NO SE REALIZA LA EXCAVACION PARA FORMAR LA ---
 ZANJA EN DONDE SE COLOCA EL NOPAL PICADO, SINO QUE EL -----
 MATERIAL HIDRATANTE ESTA EN CONTACTO CON LA BASE DE LA ---
 PLANTA.

EL SISTEMA DE RIEGO POR CAPILARIDAD CONSISTE EN LO
 SIGUIENTE:

A UNA PROFUNDIDAD DE 1.20 m SE COLOCA UN DEPOSITO -
 DE UNA CAPACIDAD DE 60 lts DE AGUA SOBRE EL CUAL SE COLOCA --
 UNA LAMINA PERFORADA; Y ENCIMA DE LA LAMINA SE COLOCA -----
 PIEDRA DE 4 cm DE DIAMETRO, POSTERIORMENTE SE COLOCAN 10 cm
 DE GRAVA, 10 cm DE GRAVILLA, 10 cm DE ARENA, Y 2 cm DE CARBON

ACTIVADO; FINALMENTE EL RESTO DE LA EXCAVACION SE RELLENA CON TIERRA RICA EN MATERIA ORGANICA QUE ES DONDE SE PLANTA EL FRUTAL; ENCIMA DE ESTA TIERRA VEGETAL SE SELLA CON 5 cm DE TIERRA ARCILLOSA PARA EVITAR QUE SE PIERDA HUMEDAD; EL PRINCIPIO DE ESTE SISTEMA ES EL DE CONTAR CON UN AMBIENTE HUMEDO ALREDEDOR DE LA RAIZ DEL FRUTAL Y OPTIMIZAR AL MAXIMO EL USO DEL AGUA.

EL TRATAMIENTO DE RIEGO POR DESTILACION SOLAR Y GÓTEO SAUCEDA:

CONSISTE EN TENER UNA EXCAVACION DE 1 m x 1 m LADO Y 50 cm DE PROFUNDIDAD; EN ESTA EXCAVACION SE COLOCA AL CENTRO, UN RECIPIENTE CON UNA MANGUERA Y NÓPAL PICADO A SU ALREDEDOR; LA MANGUERA SE CONDUCE A LA CEPA DONDE SE PLANTARA EL FRUTAL. LA EXCAVACION SE CUBRE CON POLIETILENO; CON LA TEMPERATURA DE LOS RAYOS SOLARES SE INICIA EL PROCESO DE EVAPORACION DESCRITO EN LOS TRATAMIENTOS ANTERIORES; SOLO QUE LAS GOTAS DE AGUA SE DEPOSITAN EN EL RECIPIENTE QUE SE HABIA COLOCADO Y EL AGUA ES CONDUCTIDA POR LA MANGUERA HASTA EL LUGAR REQUERIDO.

EL TESTIGO O CONTROL CONSISTE, SOLAMENTE EN HACER LA PLANTACION DEL FRUTAL CON EL SISTEMA CONVENCIONAL UTILIZADO EN LA REGION Y QUE ES EL DE CEPA COMUN.

ESTOS TRATAMIENTOS SE INSTALARON EN BORDOS A NIVEL SEPARADOS A LA DISTANCIA QUE RESULTA DE ACUERDO A SU INTERVALO VERTICAL.

EN LOS TRATAMIENTOS DE DESTILACION SOLAR SE APLICO 75 kg DE HUMECTANTE (NOPAL PICADO) Y SE CAMBIO CADA TRES MESES PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE HUMEDAD QUE CONTENIA.

EN LOS TRES TRATAMIENTOS DE DESTILACION, NO EXISTIO DIFERENCIA SIGNIFICATIVA EN CUANTO A PRODUCCION DE AGUA SE --- REFIERE, TENIENDO UN PROMEDIO DIARIO DE 1.048 lts.

LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRIMER ETAPA (3 AÑOS) DE ESTA EXPERIMENTACION QUE ES HASTA EL ESTABLECIMIENTO DE - LAS VARIEDADES DE DURAZNO, SON LAS SIGUIENTES:

TRATAMIENTO	SOBRE VIVEN CIA %	INCREMENTO ALTU- RA cm	INCREMENTO COBER- TURA cm	INCREMENTO DIAME- TRO cm
RIEGO POR DESTILACION SOLAR INIF	62.5	41	91.25	2.70
RIEGO POR DESTILACION SOLAR SARH	25.0	15	56.58	2.20
RIEGO POR CAPILARI--- DAD	68.75	52	104.5	2.48
RIEGO POR DESTILACION SOLAR Y GOTEO SAUCEDA	100	56	128.3	3.18
TESTIGO (CONTROL)	25.0	10	15	1.05

COMO SE PUEDE OBSERVAR EN ESTA PRIMER ETAPA SE ---- NOTAN LOS MAGNIFICOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL TRATAMIENTO RIEGO POR DESTILACION SOLAR Y GOTEO SAUCEDA, EN DONDE LA ---- SOBREVIVENCIA TOTAL Y LOS INCREMENTOS EN ALTURA, COBERTURA Y DIAMETRO SON SOBRESALIENTES, POR LO QUE PARA EL ESTABLECI--- MIENTO DE DURAZNO SE RECOMIENDA ESTE TRATAMIENTO; -----

EL TRATAMIENTO RIEGO POR CAPILARIDAD TAMBIEN ES BASTANTE --
BUENO PERO SU COSTO DE INSTALACION ES SUPERIOR AL ANTERIOR; -
EL TRATAMIENTO RIEGO POR DESTILACION SOLAR INIF PRESENTA --
TAMBIEN BUENOS RESULTADOS, PERO REQUIERE DE MAYOR -----
MANIPULO DEL POLIETILENO PARA EVITAR LOS EXCESOS DE HUMEDAD
QUE EN OCASIONES SE PRESENTARON DURANTE LA EXPERIMENTACION;
ACTUALMENTE LA MAYORIA DE LAS PLANTAS ESTAN EN PLENA -----
FRUCTIFICACION Y SE ESPERA QUE EN UNOS DOS AÑOS MAS SE PUEDA
EVALUAR LA SEGUNDA ETAPA DE LA INVESTIGACION QUE CONSISTE EN
DETERMINAR EL TRATAMIENTO MAS RECOMENDABLE EN CUANTO A ---
PRODUCCION Y BENEFICIOS ECONOMICOS SE REFIERE.

DEBIDO A LOS RESULTADOS TAN PROMETEDORES OBTENIDOS
HASTA EL MOMENTO, SE HAN INICIADO INVESTIGACIONES CON ESTE ---
SISTEMA DE DESTILACION SOLAR PARA EL CULTIVO DE PISTACHE, VID,
HIGUERA Y LUPULO, ASI COMO TAMAÑOS Y FORMA DE LOS PROPIOS ----
DESTILADORES.

DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO PARA EXPERIMENTACION

DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO PARA EXPERIMENTACION

Ignacio MONTANO DURAN	1
Manuel A. ESCOBAR AVILA	2
Carlos E. RAMIREZ C.	3

INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

La experimentación en Riego por Goteo a nivel mundial es limitada mo tivado principalmente por la inversión inicial en equipo y la mano de obra necesaria para operar el sistema; que son efectos de la infraestructura ne cesaria al programar experimentos con diferentes tratamientos en K de la - evaporación y frecuencias de riego.

En CENAMAR se establecieron en 1975, 4 ha. de nogal con un costo equi valente a 120,000.00 Dls., por concepto de construcción de depósito de alma cenamiento de agua, tubería de conducción y equipo. En 1980 se paga el equi valente a 31,104.00 Dls. por salario y 12,792.00 Dls., por concepto de tiem po extra a la brigada de campo, consistente en un técnico y ocho trabajado res y solo se agregaron 1 ha. de vid y 0.5 ha. de hortalizas. Esto represen ta una erogación total de 43,996.00 Dls. originados al trabajar los trata mientos de los experimentos independientemente. Otro efecto paralelo es la dificultad para sistematizar el manejo de la información recopilada que se traduce en una disminución de la capacidad de trabajo de los tres ingenieros encargados de este programa.

-
1. Ing. Ind. Investigador del Departamento de Riego a Presión del Centro Na cional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR)
 2. Ing. Ind. Asesor de la Dirección en Proyectos de Riego del Centro Nacio nal de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR)
 3. Ing. Ind. Jefe del Departamento de Riego a Presión del Centro Nacional - de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR)

OBJETIVO

Plantear un diseño hidráulico del sistema que tenga como característica fundamental irrigar simultáneamente los tratamientos del experimento con el mismo tiempo de riego para inducir el ahorro de mano de obra al operar y así lograr la automatización del equipo.

METODOLOGIA

El riego por goteo se diseña con capacidad para satisfacer la demanda máxima que presentan los cultivos en un día. En árboles frutales el marco de plantación define el volumen de suelo que potencialmente le corresponde a un árbol, la experimentación está dirigida a encontrar el volumen mínimo necesario para cada especie frutal por medio de áreas humedecidas. La demanda máxima (D_m) diaria se define como el volumen calculado a partir de el área (A) humedecida, la evaporación (E_v) media para el mes crítico y el porcentaje (K) con que se afecta a la evaporación al operar, una vez que se encuentra este volumen se divide entre las horas del día para encontrar el gasto (Q) que debe aplicarse por árbol.

A continuación se describe un ejemplo del cálculo de la demanda máxima diaria y del gasto aplicable por árbol.

Considerando el área humedecida definida por el marco de plantación - 121 m^2 ; para el cultivo de nogal, (11 x 11 m) la evaporación diaria media del mes más crítico 12 mm y el coeficiente con el que se afecta el evaporación 1.0, la demanda máxima diaria será:

$$D_m = A \cdot K \cdot E_v \quad (1)$$

$$D_m = (121) (1) (0.012)$$

$$D_m = 1.452 \text{ m}^3$$

El gásto que debe aplicarse por árbol para esta área humedecida será:

$$Q = \frac{D_m}{24} \quad (2)$$

$$Q = \frac{1.452}{24}$$

$$Q = 60.5 \text{ lph}$$

Es fácil entender que un árbol grande como; nogal, aguacate o mango necesitará un volumen de suelo diferente a un árbol pequeño como cítrico, manzano y durazno. La forma de proporcionar un volumen apropiado de suelo a partir del área humedecida con riego por goteo a diferentes árboles, es a través del número de puntos de emisión, los cuales se calculan de la siguiente manera: Las pruebas de capilaridad e infiltración determinan la distribución horizontal y vertical del agua en la superficie a partir del gotero con lo que se hace una estimación del área susceptible de humedecer en el tiempo (T_a) de aplicación por punto de emisión con este dato y el área del marco de plantación se calcula el número de goteros y el espaciamiento entre ellos.

El cálculo del número de emisores se ilustra con el siguiente ejem:

Teniendo una plantación de nogal en marco real de 11 x 11 m - - - ($A = 121 \text{ m}^2$) considerando que el nogal extrae el 90% del agua a una profundidad de 1.2 m y planeando humedecer el total del área del marco de plantación en el suelo con las siguientes características.

Densidad aparente (Da) = 1.32 gr/cm³
 Capacidad de campo (CC) = 31.44%
 Porcentaje de marchitamiento permanente (PMP) = 13.18%

$$\text{Capilaridad: } L = 0.9093 T^{0.4599} \quad (3)$$

Donde:

L = Distribución capilar alcanzada en el tiempo T, (cm)

T = Tiempo (min)

$$\text{Infiltración: } L = 2,503 T^{0,2763} \quad (4)$$

Donde:

L = Lámina infiltrada (cm)

T = Tiempo (min)

Se procede a determinar el volumen de agua (Va) necesario para humedecer hasta capacidad de campo el volumen de suelo (Vs) partiendo de PMP

$$V_s = A \cdot Pr$$

$$V_s = (121) (1,2)$$

$$V_s = 145,2 \text{ m}^3 \quad (5)$$

$$V_a = \frac{V_s \cdot Da (CC - PMP)}{\text{Densidad del agua}}$$

$$V_a = \frac{(145,2) (1,32) (0,3144 - 0,1318)}{1}$$

$$V_a = 34,997 \text{ m}^3 \quad (6)$$

Con este dato y el gasto por árbol calculamos el tiempo (Ta) en que se humedece el volumen planteado.

$$T_a = \frac{V_a}{Q}$$

$$T_a = \frac{34997}{60,5}$$

$$T_a = 578,46 \text{ h}$$

$$T_a = 24,1 \text{ día (34704 min)} \quad (7)$$

La difusión horizontal (r) que alcanza el agua por capilaridad en este tiempo se calcula sustituyendo en la ecuación (3), considerando que el movimiento capilar es igual en todas direcciones:

$$r = 0,9093 T_a^{0,4599}$$

Donde el tiempo se expresa en min. y la altura capilar en cm.

$$r = 0,9093 (34,704)^{0,4599}$$

$$r = 111,4 \text{ cm}$$

Este es el límite superior de difusión horizontal para un gotero con este dato se calcula un área por humedecer (A_g) para un gotero así:

$$A_g = r^2$$

$$A_g = (1,11)^2$$

$$A_g = 3,87 \text{ m}^2 \quad (8)$$

El número de goteros se obtiene al dividir el área total humedecida entre el área que puede humedecer un gotero.

$$N = \frac{A}{A_g}$$

$$N = \frac{121}{3,87}$$

$$N = 31 \quad (9)$$

El gasto que deben proporcionar los goteros se obtiene de dividir el gasto por árbol entre el número de goteros.

$$q = \frac{Q}{N}$$

$$q = \frac{60.5}{31.0}$$

$$q = 1.95 \text{ l.p.h} \quad (10)$$

Para comprobar todo lo anterior, se realizó una prueba de campo proporcionando gastos de 1.95, 1.70 y 1.50 lph con los resultados y se observó que la difusión promedio en el tiempo de riego fue de 1.03 m y el área real que humedece un gotero es de 3.33 m^2 , por lo que repitiendo los cálculos de las ecuaciones (9) y (10) se deduce que se necesitan 36 goteros con un gasto de 1.68 l.p.h.

El riego por goteo mantiene en todo momento un régimen de humedad alto, lo que induce que el consumo de agua del cultivo guarde una relación constante con la evaporación. Al definir tratamientos en experimentación se siguen dos líneas.

- a) Desarrollar los cultivos en diferentes volúmenes explotados, lo cual se consigue al adicionar o restar goteros sin alterar el espaciamiento definido entre ellos.
- b) Probar diferentes porcentajes de la evaporación para estimar el consumo de agua.

El gasto del gotero se calcula al dividir la demanda máxima entre el número de emisores, para manejar tratamientos en base a porcentajes de evaporación se usan reductores de presión o tubería de diferentes diámetros y longitud con el fin de afectar los gastos de estos porcentajes y así conseguir ope-

rar el experimento con un mismo tiempo de riego.

Definición de tratamientos en riego por goteo:

- a) Tratamientos en base a volúmenes explotados. Tenemos 36 goteros para humedecer un área de 121 m^2 con un marco de plantación de $11 \times 11 \text{ m}$ y la forma de humedecer es con seis hileras de seis goteros igualmente, espaciados a 1.83 m .

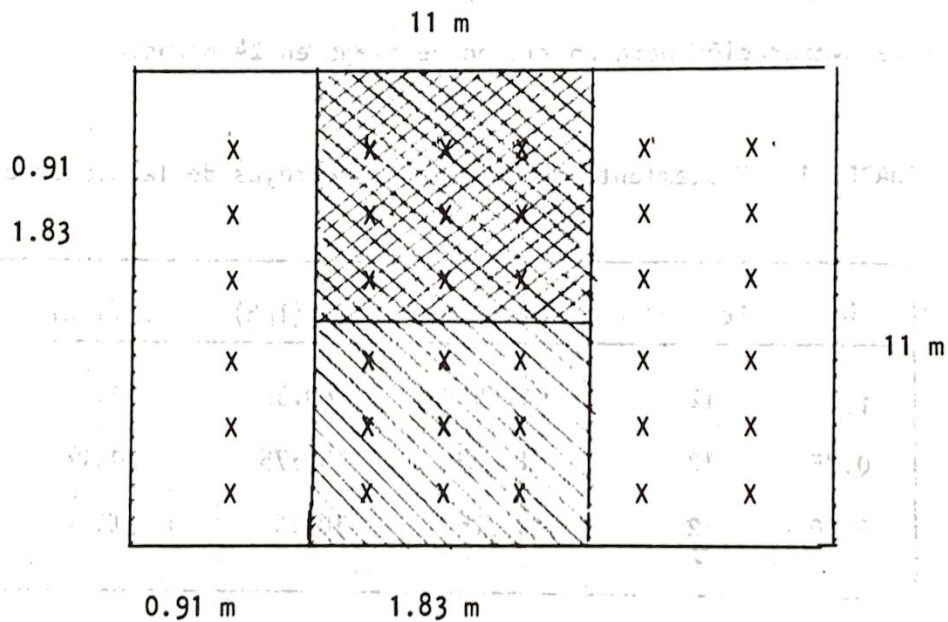


Fig. 1. Tratamientos en base a volúmenes de suelo explotados.

Si se programan tratamientos en volúmenes de suelo explotados a partir del área humedecida en la fig. 1, el anchurado muestra un tratamiento al 50% del volumen definido por el marco de plantación y el doble anchurado define un tratamiento al 25%. Al calcular la demanda para cualquier tratamiento en base al área humedecida y el número de goteros observamos que se guarda una relación directa al respetar el espaciamento entre los goteros ($121:36$, $60.5:18$; $30.25:9$), lo que se traduce en aplicar el volumen para cada tratamiento con un mismo tiempo de riego.

- b) Tratamiento en base a porcentajes de la evaporación (K). Al plantear tratamientos con porcentajes de la evaporación para una misma área humedecida, la demanda en volumen es afectada por el valor del porcentaje. Para aplicar los diferentes volúmenes de agua en el mismo tiempo de riego se emplean diferentes gastos.

En el cuadro 1 se presentan los valores de la demanda en volumen y los gastos por gotero para humedecer con 36 goteros, 121 m² con diferentes porcentajes de la evaporación para un tiempo de riego en 24 horas.

CUADRO 1. Tratamiento con base a porcentajes de la evaporación

K	Ec (mm)	Dm (m ³)	Q (lph)	q (lph)
1.0	12	1.452	60.5	1.68
0.75	12	1.089	45.375	1.26
0.50	12	0.726	30.25	0.84

Se seleccionó el gotero REX-NETAFIM 122-T de flujo turbulento que presenta la siguiente ecuación de funcionamiento:

$$q = 0.5962 H^{0.5189}$$

Que define la relación carga (H) gasto (q) para establecer la presión a que deben trabajar los goteros.

En el cuadro 2 se muestran las presiones (H) de funcionamiento de los goteros, las diferencias de presión (Hf) necesarias para satisfacer los gastos de cada tratamiento así como las dimensiones (diámetro (Ø) y longitud (L) de los reductores de presión.

CUADRO 2. Presión de funcionamiento y reductores de presión

K	q (lph)	H (m)	Hf (m)	ϕ (mm)	L (cm)
1.0	1.68	7.36	0	-	-
0.75	1.26	4.23	3.13	3.175	140
0.50	0.84	1.93	5.43	1.5	9

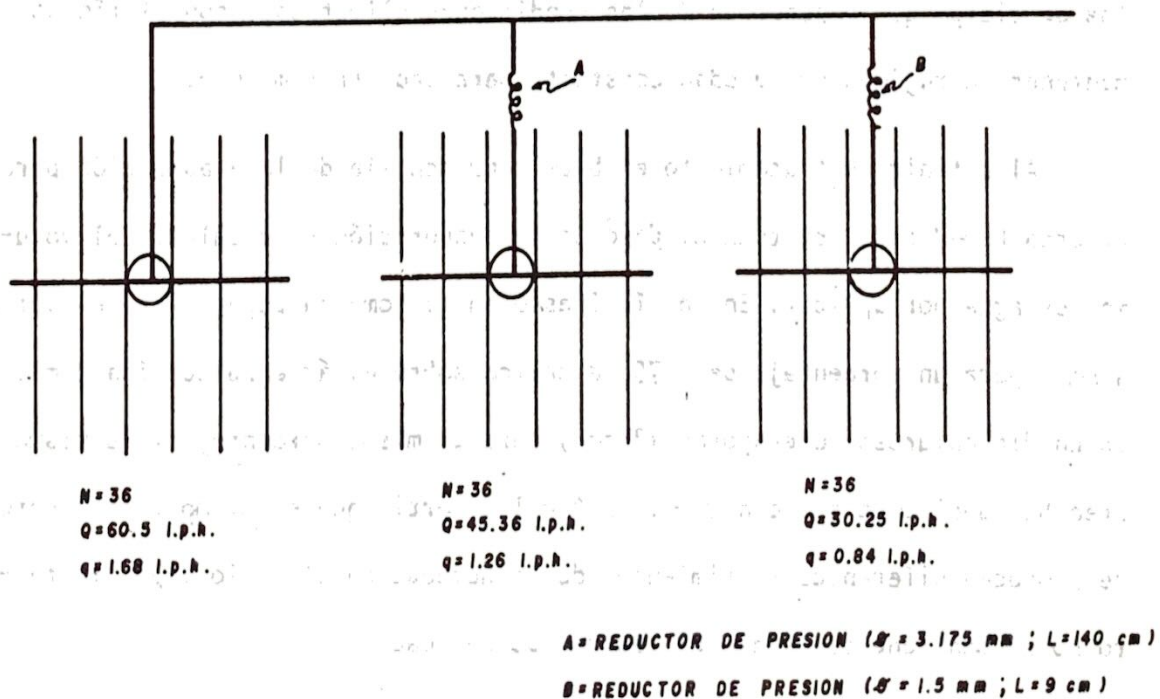


Figura 2. Posición de los reductores de presión.

Hasta ahora la aplicación de los porcentajes de la evaporación en experimentación se efectúa de la siguiente forma: por la mañana, se recoge el dato de la evaporación del día anterior y con el área humedecida y el porcentaje que se está usando se calcula el volumen por aplicar, pero se debe recordar que en un día frío el volumen faltante es pequeño y el abastecimiento con respecto a capacidad de campo también lo es, en un día caluroso el volumen faltante es mayor y el abatimiento con respecto a capacidad de campo es bastante diferente; del anterior para el mismo porcentaje de la evaporación de lo anterior se concluye que el mantener un porcentaje fijo no significa un tratamiento constante en cuanto a régimen de humedad. La automatización es la forma práctica de aplicar un volumen constante en diferentes intervalos de tiempo que dependerán de las condiciones climáticas, con el fin de mantener un régimen de humedad constante para cada tratamiento.

Al definir un tratamiento en base a porcentaje de la evaporación para un área humedecida, se toma el dato de la evaporación y se calcula el volumen de agua por aplicar. En un día fresco en la Comarca Lagunera se evaporan 4 mm y para un porcentaje de 0.75 se aplica sobre el área humedecida 3 mm; en un día caluroso se evaporan 12 mm y para el mismo porcentaje y la misma área humedecida se aplican 9 mm. Es fácil advertir que el mismo tratamiento se producen diferentes abatimientos de la humedad en el suelo y por lo tanto no se mantiene constante el régimen de humedad.

Para evitar el enmascaramiento del efecto de los tratamientos en porcentajes de la evaporación se toma el dato de la demanda máxima (12 mm para la Región Lagunera) y cuando se presenta esta evaporación se procede a regar durante 24 horas en cualquier época del año. Como es difícil determinar exactamente cuando se han evaporado 12 mm se recurre a la automatización que

consiste en descargar un gotero (J) en un recipiente cuya superficie sea igual a un porcentaje del área (igual al porcentaje mayor con que se esté experimentando) que debe humedecer un gotero, (ver figura 3). En el recipiente se coloca un flotador (A) en el extremo inferior de una varilla -- (B) que se desliza verticalmente por una guía (C), la barra tiene en el extremo opuesto una aguja (D), la cual hace contacto con dos laminillas (E) separadas entre sí 12 mm, cada una de las cuales controla un circuito eléctrico que enciende o apaga la bomba que alimenta al sistema. El recipiente tiene además un rebosadero (F) y una válvula de drenaje (G).

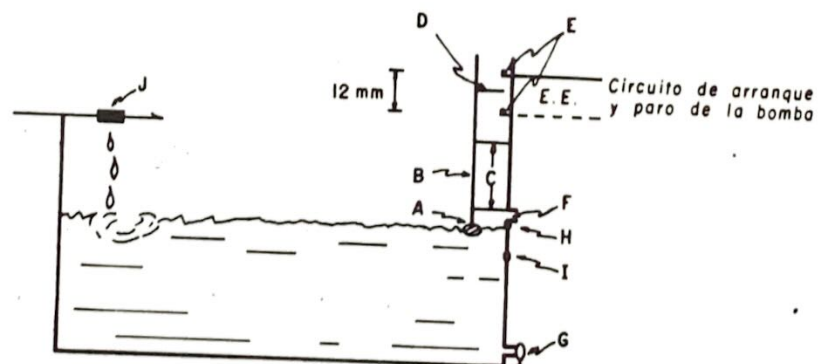


Figura 3. Dispositivo de control automático del sistema.

El dispositivo de control automático funciona de la siguiente manera:

En la etapa de formación de bulbo o "macetas" (al humedecer el volumen de suelo) no se emplean los reductores de presión para dar así el riego de implantación igual a todos los tratamientos, la válvula de drenaje del recipiente se mantiene abierta durante el tiempo de aplicación en el

que se forman los bulbos.

En el cuadro 3 se muestran los volúmenes de suelo para cada tratamiento en base a porcentaje del área de plantación del ejemplo que se presenta.

CUADRO 3. Formación de diferentes volúmenes de suelo explotados.

TRATAMIENTO % DEL AREA- DE PLANTACION	VOLUMEN DE SUELO (m ³)	VOLUMEN DE AGUA (m ³)	N	GASTO POR ARBOL (L.P.H.)	TIEMPO APLICACION (HRS)
100	145.2	35.00	36	60.48	578.7
75	108.9	26.24	27	45.36	578.7
50	72.6	17.50	18	30.24	578.7
25	36.3	8.73	9	15.12	578.7

Una vez formados los bulbos se conectan los reductores de presión correspondientes a los tratamientos en base a porcentajes de evaporación y el sistema empieza a operar automáticamente, se cierra la válvula de drenaje del recipiente, el nivel de agua en el recipiente se afora hasta la marca superior (H) la evaporación empieza a presentarse y el nivel de agua en el recipiente desciende hasta llegar a la marca interior (I) para cerrar el circuito que enciende la bomba, el gotero que descarga en el recipiente aumenta el nivel de agua y cuando llega a la marca superior se acciona el circuito que apoya la bomba.

Cuando se presentan precipitaciones el volumen de agua precipitado que sobrepasa la marca superior se derrama por el vertedor, una vez que ha de-

Jado de llover, el recipiente empieza a contabilizar la evaporación.

CONCLUSIONES.

El método de diseño propuesto tiende a asegurar que el desarrollo de los árboles se lleva a cabo en una maceta (volumen explotado) para definir el volumen potencial del sistema radicular y que los tratamientos en porcentajes de la evaporación van a producir abatimientos constantes en el régimen de humedad incrementando la capacidad del investigador al reducir sus actividades a la supervisión del equipo, recopilación de datos del muestreo gravimétrico de árboles piloto y reduciendo la mano de obra al operar un técnico a nivel medio el experimento.

APLICACION DEL RIEGO POR GOTEO EN BASE A VOLUMENES DE
SUELO EXPLOTADO Y COEFICIENTES DE LA EVAPORACION

PROYECTO DE APLICACION DEL RIEGO POR GOTEO EN BASE
A VOLUMENES DE SUELO EXPLOTADO Y COEFICIENTES
DE LA EVAPORACION

Benjamín VALDEZ GASCON 1
Manuel A. ESCOBAR AVILA 2
Ignacio MONTANO DURAN 3

INTRODUCCION

El uso de los sistemas de riego por goteo para árboles -- frutales en México, se ha incrementado en los últimos años, és to es debido a que el método ofrece características fundamenta les como son: bajo costo del sistema cuando se establece riego permanente, aumento de la producción en cantidad y calidad, u tilización de terrenos con topografía accidentada y facilidad en la aplicación de agroquímicos.

En los proyectos realizados para aplicar el agua de riego en frutales, por el sistema de riego por goteo; se ha tomado - como volumen de aplicación el calculado en base a áreas llama das equivalentes (que corresponden a superficies transpirantes de las hojas de las plantas), pero cuando se aplica el riego, esas áreas no concuerdan con las áreas que efectivamente se hu medecen las cuales son mucho menores, ocasionando que el volu men de suelo humedecido diverja del programado.

-
- 1 Ing. Agr., Investigador del Departamento de Sistemas de Riego a Presión del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR)
 - 2 Ing. Ind. Asesor de la Dirección en Proyectos de Riego del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR)
 - 3 Ing. Ind., Investigador del Departamento de Sistemas de Riego a Presión del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR)

Al no coincidir los volúmenes formados con los calculados en los suelos de textura pesada, se inducen zonas de saturación directamente a la raíz, lo que trae como consecuencia una pobre aereación, creándose un medio propicio para el desarrollo de enfermedades fungosas y una deficiente asimilación de nutrientes. En los suelos de textura ligera, esta divergencia producirá percolación profunda arrastrando consigo los elementos nutrimentales fuera del alcance de las raíces, de estos hechos se deduce que al trabajar en experimentación con riego por goteo y al comparar sus producciones con las de riego superficial no existan diferencias.

Estudios realizados en el Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR) indican que la formación del bulbo de mojado en riego por goteo, está regido por los fenómenos de capilaridad e infiltración.

En base a estos estudios surgió la inquietud de modificar el criterio tradicional de aplicación del agua con riego por goteo en árboles frutales, propiciando volúmenes de suelo explotados, que se mantendrán en condiciones óptimas de humedad de donde el ecosistema planta-atmósfera estará demandando agua.

Lo que se propone es propiciar y conducir el desarrollo de las raíces de los árboles en diferentes volúmenes de suelo humedecido, a manera de macetas.

OBJETIVOS PROPUESTOS

- a. Alcanzar los incrementos de producción esperados al utilizar el riego por goteo.

- b. Reproducir los resultados obtenidos por medio de variables de control que sean simples de aplicar por el productor.

HIPOTESIS PLANTEADAS

- a. En riego por goteo, el rendimiento del cultivo se ve afectado por el volumen de suelo humedecido en donde se desarrolla su sistema radical.
- b. El cálculo de los volúmenes de agua por aplicar está en función de las áreas efectivas de evaporación.

REVISION DE LITERATURA

Keller y Karmeli, 1974 (5) reportan que el porcentaje de área humedecida (P) comparada con el total del área depende del caudal de descarga, del espaciamiento de los emisores (o puntos de emisión cuando se utilizan emisores de salidas múltiples) y del tipo de suelo. Comentan también que un valor mínimo absoluto de (P) aún no se ha establecido experimentalmente. Sin embargo, se puede concluir que los sistemas que tienen un alto valor de (P) proporcionan más seguridad contra fallas del sistema y serían más fáciles de programar y tener más parte del sistema suelo en actividad para almacenar y suministrar nutrientes. De acuerdo con el estado actual de conocimientos, un criterio razonable de diseño es el de tratar de humedecer un mínimo de un tercio ($P = 33\%$) del volumen potencial de raíces de árboles con espaciamiento amplio.

J. Kramer, 1974 (6) indica que la aereación del ámbito de las raíces es frecuentemente un factor limitativo para el

crecimiento y funcionamiento de la raíz, causando una reducción del crecimiento de la parte aérea, angostamiento y amarillez de las hojas y por último un stress en la planta que culmina con la muerte de ésta, si el suelo está saturado.

Karmeli (4) al mencionar algunas ventajas agronómicas del sistema de riego por goteo afirma que la calidad y el rendimiento de cosechas en hortalizas se aumenta, no siendo válido esto para árboles frutales; también que las enfermedades fungosas se evitan al controlar la aplicación del agua, asimismo el contenido de humedad se mantiene cerca a la capacidad de campo, estando muy relacionada la alta productividad con las tensiones bajas de agua en el suelo; indica también que el patrón de mojado se limita al espacio de influencia del gotero o de la línea de goteros, no se sabe como afectan a los cultivos debido a que éstos crecen en una zona mínima humedecida con bajas tensiones en el suelo produciendo rendimientos óptimos; a la vez comenta que el ancho del bulbo propiciado por el gotero es función de la textura y que existen tablas de cálculo para determinar la expansión del bulbo de mojado.

En un experimento de lechuga bajo riego por goteo realizado en CENAMAR, 1977 (7), con cinco coeficientes K de la evaporación (medida en un tanque evaporómetro tipo "A") y cinco densidades de población se encontró que al aumentar las láminas de riego y la población se aumentaba el rendimiento, de esto se deduce: Al aumentar la población, el volumen explotado por planta disminuye pero se aprovecha de mejor manera el área total del cultivo por lo tanto, al trabajar volúmenes explotados

de suelo, se ve modificada la población, obteniéndose como resultado un mejor manejo del suelo explotado en relación con el desarrollo del cultivo.

Godoy Avila, 1977 (2) encontró que el consumo de agua por el nogal en las etapas iniciales normalmente fueron de las capas de 0-30 y 30-60 cm., pero una vez que se presentaron los meses calurosos como mayo, junio y julio, la planta empezó a consumir humedad de los estratos 60-90 y 90-120 cm. consumos de menor consideración fueron hechos del estrato de 120-150 cm. Comenta también que respecto al patrón de extracción de humedad se observaron los siguientes porcentajes en cada uno de los estratos: Para el estrato de 0-30 cm. varió de un 36-40% de extracción de la lámina total, para el de 30-60 cm. de un 27-29%, para el de 60-90 cm. de un 16-18% en el de 90-120 cm. de un 10-11% y finalmente para la capa de 120-150 cm. fue de un 6-9%

MATERIALES Y METODOS

LOCALIZACION

La Comarca Lagunera está comprendida en los paralelos 24° 30' y 27°0' latitud norte y entre los meridianos 102°0' y 104° 40' de longitud oeste de Greenwich.

CLIMA

Según la clasificación del clima, Thornthwaite lo define como C.W; que es árido con lluvias deficientes en todas las estaciones, mesotermal con una concentración aproximada de tempe

ratura de 30°C durante el verano y se simboliza por EB'da.

SUELOS

Los suelos de la Comarca Lagunera son suelos que se formaron por depósitos o acarreo. Se distinguen como importantes - las series: Coyote, San Pedro, Concordia y Santiago.

SITIO EXPERIMENTAL

Ubicación. El experimento se realiza en una parcela establecida en el Campo Experimental del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR) con sitio en el Km. 6 + 500 - en la margen derecha del Canal Sacramento, Distrito de Riego - No. 17, Región Lagunera.

Generalidades. La parcela que sirve para el experimento cuenta con una superficie de 1-08-90 has. donde se implantaron 90 árboles frutales de nogal. Se experimenta con este frutal debido a que es un cultivo de importancia económica tanto regional como nacional por las fuentes de trabajo que genera.

Suelo. El suelo es profundo y homogéneo; las determinaciones físicas y químicas se muestran en los Cuadros 1 y 2.

CUADRO 1

DETERMINACIONES FISICAS

TEXTURA	DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	CONSTANTES DE HUMEDAD	
		CAPACIDAD DE CAMPO (%)	PUNTO DE MARCHITAMIENTO PERMANENTE (%)
Migajón Arcilloso	1.32	31.44	13.18

El Cuadro 1 muestra que es un suelo pesado con alto índice de retención de humedad (31.44 - 13-18) donde es posible tener problemas de encharcamiento del agua.

CUADRO 2 DETERMINACIONES QUIMICAS

pH	M.O. (%)	N (meq/lt)	P ₂ O ₅ (meq/lt)	C.E. (mmhos/cm)
7.4	1	0.051	3.8	1.2

El Cuadro 2 muestra un deficiente contenido de nutrientes en el suelo y un pH ligeramente alcalino.

Agua. El agua que se utiliza para este experimento está clasificada según el manual 60 de E.U. dentro de la clase C₂S₁, considerándose como buena para riego.

ASPECTOS AGRONOMICOS CONSIDERADOS.

El cultivo establecido es el nogal, (Carya illinoensis K) y las variedades recomendadas para la región son: "Western" como productora y "Wichita" como polinizadora, en una relación de cuatro productores por un polinizador.

En el establecimiento de la plantación se consideraron los siguientes aspectos: Preparación del terreno, se escogieron árboles con troncos de una pulgada de diámetro los cuales fueron colocados en un tipo de plantación de marco real de 11 x 11 m.

La plantación se efectuó el 6 de marzo de 1981, para inducir el desarrollo de la parte aérea, se sigue la poda indicada

para la formación del sistema de líder central modificado.

La fertilización se realizará a través del sistema en el momento que el cultivo lo requiera utilizando fertilizantes -- tratados previamente con el fin de hacerlos más solubles.

METODOLOGIA DE RIEGO

A la fecha aún no se ha instalado el sistema de riego por goteo debido a que el frutal se encuentra en la etapa de establecimiento, una vez asegurada ésta, se instalará el sistema, el cual tendrá como función el de propiciar volúmenes de suelo humedecido para cada árbol frutal, el tamaño de estos volúmenes estará de acuerdo al tratamiento programado. Los tratamientos fueron fijados partiendo del volumen de suelo y la evaporación. Para ésto se determinó trabajar con 4 porcentajes del área total de 121 m^2 ($A_1 = 0.25$, $A_2 = 0.50$, $A_3 = 0.75$, $A_4 = 1.00$) a una profundidad de 1.20 m. por considerarse que es aquí donde la planta extrae el 90% del agua necesaria para su desarrollo, con ésto obtenemos los 4 volúmenes de suelo a explotar ($V_1 = 0.25$, $V_2 = 0.50$, $V_3 = 0.75$, $V_4 = 1.00$) para determinar los efectos del clima sobre la demanda de agua se seleccionaron 3 coeficientes K de la evaporación medida en un tanque Tipo "A" ($K_1 = 0.50$, $K_2 = 0.75$, $K_3 = 1.0$).

El procedimiento de cálculo a seguir para la determinación de las variables necesarias en el diseño hidráulico del sistema es sumamente sencillo y se escogen para ello los valores de mayor demanda resultantes del cálculo con ésto asegura-

mos que el sistema proporciona los volúmenes de agua requeridos en los momentos más críticos.

La secuencia de cálculo es la siguiente:

CALCULO DE VOLUMENES DE SUELO EXPLOTADO.

En la obtención de volúmenes de suelo explotados, se considera una profundidad de 1.20 m. para todos los tratamientos. La siguiente ecuación rige la obtención de dichos volúmenes de suelo:

$$V_s = A \times Pr \quad \text{--- (1)}$$

Donde:

V_s = Volumen de suelo explotado (m^3)

A = Area de estudio (m^2)

Pr = Profundidad (m)

CUADRO 3 Volúmenes de suelo obtenidos respecto a los porcentajes de área propuestos.

Porcentaje (%)	Area (m^2)	Volumen de suelo (m^3)
100	121.00	145.20
75	90.75	108.90
50	60.50	72.60
25	30.25	36.30

CALCULO DEL VOLUMEN DE AGUA PARA HUMEDECER UN VOLUMEN DE SUELO.

El volumen de agua, dada su relación peso-volumen y una - diferencia del contenido de humedad ($\Delta Ps = CC - PMP$) es:

$$Va = Vs \times Da \times \Delta Ps / Dw \quad (2)$$

Donde:

$$Va = \text{Volumen de agua (m}^3\text{)}$$

$$Vs = \text{Volumen de suelo (m}^3\text{)}$$

$$Da = \text{Densidad aparente del suelo } \left(\frac{\text{Ton.suelo}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\Delta Ps = \text{Diferencia de humedad de CC - PMP } \left(\frac{\text{Ton.agua}}{\text{Ton.suelo}} \right)$$

$$Dw = \text{Densidad del agua } \left(\frac{\text{Ton.agua}}{\text{m}^3} \right)$$

El volumen de agua necesario para humedecer cada volumen - de suelo explotado se presenta en el Cuadro 4

CUADRO 4. Volumen de agua correspondiente a cada volumen de - suelo.

Vol. suelo (m ³)	Vol. agua (m ³)
145.2	34.997
108.9	26.248
72.6	17.498
36.3	8.749

CALCULO DE LA DEMANDA MAXIMA DIARIA

Tomando el coeficiente K de la evaporación igual a 1.0 y la evaporación igual a .012 m. (registrada en los días más críticos en la Región Lagunera) para cada área en estudio se tiene:

$$\text{Demanda máxima diaria} = A \times E_v \times K \text{ --- (3)}$$

Donde:

A = Area en estudio (m^2)

E_v = Evaporación (m)

K = Constante de la evaporación

Las demandas máximas diarias para los porcentajes de área en estudio se presentan en el Cuadro 5

CUADRO 5. Demandas máximas diarias con respecto al porcentaje de área.

Porcentaje área (m^2)	Demandas máximas diarias (m^3)
121.00	1.452
90.75	1.089
60.50	0.726
30.25	0.363

CALCULO DEL TIEMPO DE APLICACION.

Este tiempo de aplicación provee el volumen de agua necesario para la implantación de los volúmenes de suelo a humedecer en los casos máximos, su cálculo es el siguiente:

$$T. \text{ de aplicación} = \frac{\text{Volumen total}}{\text{Demanda máxima diaria}} \quad \text{--- (4)}$$

$$T. \text{ de aplicación} = \frac{34.997}{1.452} = 24.10 \text{ días}$$

CALCULO DEL RADIO DE MOJADO ALCANZADO POR GOTERO.

Trabajos realizados en CENAMAR (Diseño de sistemas de riego por goteo para experimentación) nos indican que el movimiento -- del agua en el suelo por capilaridad está regido por la siguien te fórmula:

$$r = .9093 (T)^{.4599} \quad \text{--- (5)}$$

Donde:

r = Radio de mojado alcanzado por capilaridad (cm)

T = Tiempo de aplicación (en minutos)

Tomando el tiempo de aplicación de 24.10 días y sustituyen do este valor en la fórmula (5) se tiene:

$$r = .9093 (34704)^{.4599}$$

$$r = 111.38 \text{ cm.}$$

CALCULO DEL AREA SUPERFICIAL HUMEDECIDA POR GOTERO.

El área humedecida por capilaridad por cada gotero en un - tiempo de 24.10 días, (considerando el suelo completamente homo géneo) es un círculo.

Tomando:

$$A = \pi r^2 \quad \text{--- (6)}$$

Donde:

A = Area mojada por cada gotero (m^2)

$$\pi = 3.1416$$

r = Radio de mojado por gotero (m)

Sustituyendo valores en la ecuación (6) se tiene:

$$A = 3.1416 (1.1138)^2$$

$$A = 3.89 \text{ m}^2$$

CALCULO DEL NUMERO DE GOTEROS (Ng) PARA LA MAXIMA SUPERFICIE.

$$N_g = \frac{\text{Area Total}}{\text{Area de influencia del gotero}} \quad \text{--- (7)}$$

$$N_g = \frac{121}{3.89} = 31 \text{ goteros}$$

Para obtener una distribución uniforme de goteros en una cuadrícula de 11 x 11 m. (superficie de máxima influencia del árbol) se emplean 36 goteros.

La figura siguiente muestra la distribución de los goteros.

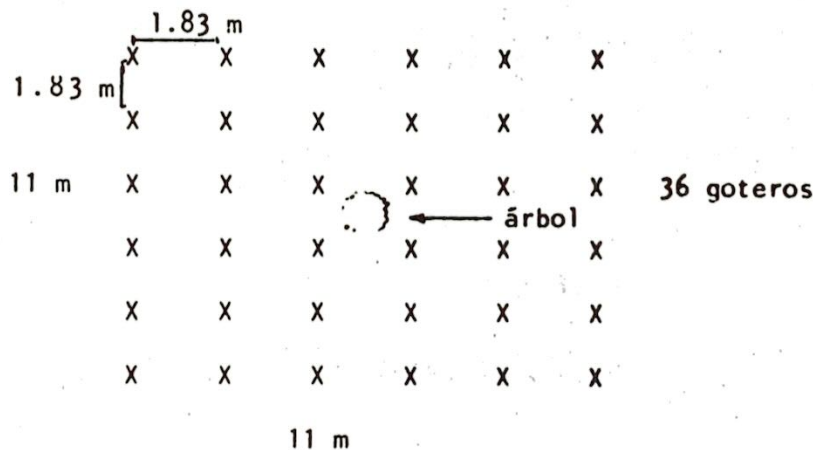


Fig. 1 Distribución de goteros por árbol en la máxima superficie.

Por este concepto el área de influencia por gotero (A₁) -

se ve reducida a:

$$A_i = \frac{\text{Area Total}}{\text{No. de goteros}}$$

$$A_i = \frac{121 \text{ m}^2}{36}$$

$$A_i = 3.36 \text{ m}^2$$

CALCULO DEL NUMERO DE GOTEROS (N_g) PARA CADA SUPERFICIE EN ESTUDIO.

Con el área de influencia de cada gotero se calcula la cantidad de goteros que es necesario distribuir en las cuatro superficies para proporcionar los volúmenes de suelo humedecido programados en el experimento, usando la ecuación (7) se tiene:

$$\text{No. goteros } (N_g) = \frac{\text{Area Total}}{\text{Area influencia x gotero}}$$

a.- Para un 100% de la superficie

$$N_g = \frac{121.0 \text{ m}^2}{3.36 \text{ m}^2/\text{g}} = 36 \text{ goteros}$$

b.- Para un 75% de la superficie

$$N_g = \frac{90.75 \text{ m}^2}{3.36 \text{ m}^2/\text{g}} = 27 \text{ goteros}$$

c.- Para un 50% de la superficie

$$N_g = \frac{60.5 \text{ m}^2}{3.36 \text{ m}^2/\text{g}} = 18 \text{ goteros}$$

d.- Para un 25% de la superficie

$$N_g = \frac{30.25 \text{ m}^2}{3.36 \text{ m}^2/\text{g}} = 9 \text{ goteros}$$

La distribución de goteros en las superficies correspondientes se muestran en las figuras 1, 2, 3 y 4 del anexo.

CALCULO DEL GASTO POR GOTERO.

La selección del gasto del gotero es de importancia fundamental, ya que el proporcionar los volúmenes de agua requeridos por la planta está en función del gasto que proporcione el gotero, es decir:

$$\text{Gasto del gotero (q)} = \frac{\text{Demanda máxima diaria}}{\text{No. goteros}} \quad (8)$$

Para el caso del 100% de la superficie

$$q = \frac{1452 \text{ litros/día}}{36}$$

$$q = 40.33 \text{ litros/día}$$

$$q = 1.68 \text{ litros/hora}$$

En la implantación de la metodología de riego (formación de volúmenes de suelo humedecido) se aplica un gasto de 1.68 - litros/hora/gotero en un tiempo de aplicación de 24.10 días para todos los tratamientos, una vez formada la maceta se procede a aplicar los gastos correspondientes a cada tratamiento según el coeficiente K de la evaporación al cual se esté manejando.

De esta manera el gasto por gotero (q) es diferente para cada coeficiente K de la evaporación que se utiliza. El Cuadro 6 muestra los gastos requeridos:

CUADRO 6 Gasto por gotero según el coeficiente K de la evaporación.

K	q (lt/hora)
1.00	1.68
0.75	1.26
0.50	0.84

Para la obtención de los gastos requeridos por gotero, es necesario producir una reducción de carga hidráulica por medio de tubería de diámetro más pequeño, la cual es colocada a la entrada de cada emisor (conjunto de goteros en este caso) de esta manera se obtienen diferentes volúmenes de agua aplicados en un mismo tiempo de riego, propiciado así la automatización en la operación del sistema.

DISTRIBUCION DEL AGUA EN EL SUELO.

La distribución del agua en el suelo está regida por los fenómenos de capilaridad e infiltración tomando estos principios:

El radio alcanzado por capilaridad según la ecuación (5) es:

$$r = .9093 (T)^{.4599}$$

$$r = .9093 (34704)^{.4599}$$

$$r = 111.38 \text{ cm.}$$

El radio alcanzado por infiltración.

Partiendo de la asunción de que el agua que proporciona un gotero, es igual al agua que recibe el suelo (según anexo) y de que el suelo es completamente homogéneo se tiene:

$$r = \left[\frac{q}{a(1-b)} \right]^{1/2} \left[T^{(1-b)} \right]^{1/2} \text{ --- (9)}$$

Donde:

r = radio alcanzado por infiltración (cm)

q = gasto que proporciona un gotero (cc/min)

$$= 3.1416$$

a, b = constantes que resultan de la fórmula de infiltración

$$L = aT^b$$

La fórmula de infiltración obtenida para el suelo de - -
CENAMAR es la siguiente:

$$L = 2.503 T^{0.2763} \text{ --- (10)}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (9) se obtiene:

$$r = \left[\frac{28}{2.503 (1-0.2763) 3.1416} \right]^{1/2} \left[34704^{(1-0.2763)} \right]^{1/2}$$

$$r = 97.46 \text{ cm.}$$

La lámina aplicada según ecuación (10) es:

$$L = 2.503 (T)^{0.2763}$$

$$L = 2.503 (34704)^{.2763}$$

$$L = 44.97 \text{ cm.}$$

La profundidad alcanzada por infiltración:

$$L = (CC - PMP) Da \times Pr \text{ --- (11)}$$

$$Pr = \frac{L}{(CC-PMP) Da}$$

$$Pr = \frac{44.97}{(.1826) 1.32}$$

$$Pr = 186 \text{ cm.}$$

La formación del bulbo de mojado queda como se muestra en la
figura siguiente:

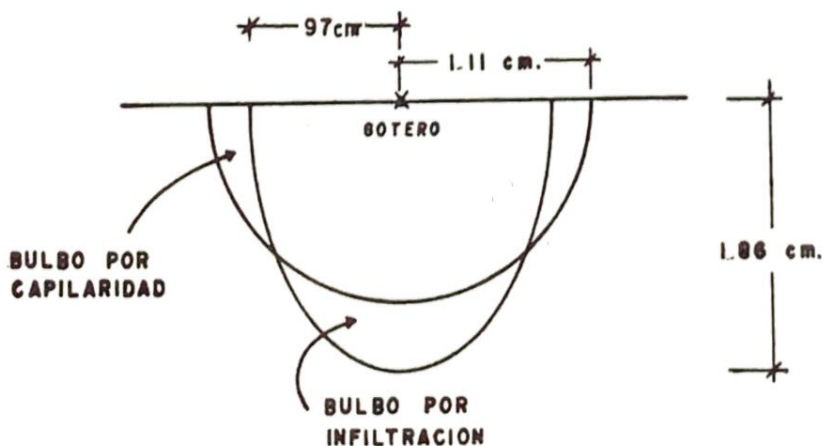


Fig. 2 Formación de bulbos por capilaridad e infiltración.

Nota: La formación de los bulbos no necesariamente se ajustará a la figura ilustrada, cabe hacer mención que aquí se representan los casos ideales.

DISENO EXPERIMENTAL.

Consiste en un experimento factorial completo con una distribución de bloques al azar con tres repeticiones y arreglo combinatorio.

FACTORES		NIVELES
Volumen de		$V_1 = 0.25$
Suelo explotado	$V = 4$	$V_2 = 0.50$
		$V_3 = 0.75$
		$V_4 = 1.00$
Porcentaje de		$K_1 = 0.50$
Evaporación	$K = 3$	$K_2 = 0.75$
		$K_3 = 1.00$

OBTENCION DE TRATAMIENTOS

El Cuadro de doble entrada para hacer todas las combinaciones posibles es el siguiente:

Volúmenes de suelo	Porcentajes K		
	K_1	K_2	K_3
V_1	$V_1 K_1$	$V_1 K_2$	$V_1 K_3$
V_2	$V_2 K_1$	$V_2 K_2$	$V_2 K_3$
V_3	$V_3 K_1$	$V_3 K_2$	$V_3 K_3$
V_4	$V_4 K_1$	$V_4 K_2$	$V_4 K_3$

Resultando los siguientes tratamientos:

Número	Tratamiento	% Volumen	K
1	$V_1 K_1$	0.25	0.50
2	$V_2 K_1$	0.50	0.50
3	$V_3 K_1$	0.75	0.50
4	$V_4 K_1$	1.00	0.50
5	$V_1 K_2$	0.25	0.75
6	$V_2 K_2$	0.50	0.75
7	$V_3 K_2$	0.75	0.75
8	$V_4 K_2$	1.00	0.75
9	$V_1 K_3$	0.25	1.00
10	$V_2 K_3$	0.50	1.00
11	$V_3 K_3$	0.75	1.00
12	$V_4 K_3$	1.00	1.00

La distribución de tratamientos en el campo se ilustra en la figura No. 5 del anexo.

VARIABLES RESPUESTA.

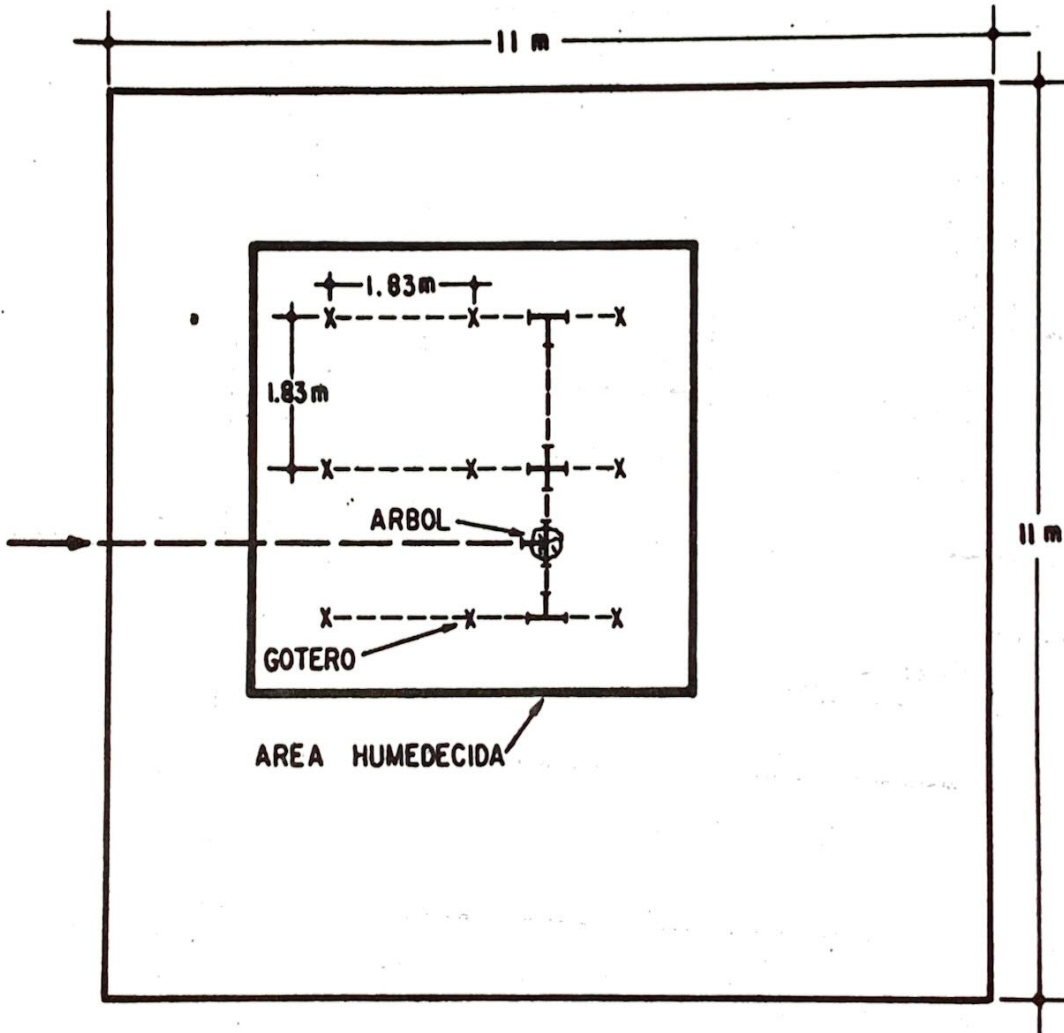
Las variables escogidas para evaluar el experimento hasta el quinto año son:

Desarrollo vegetativo de los árboles (medido como incremento de altura, diámetro del tallo, longitud de brotes, área foliar y peso de madera seca).

En los años siguientes cuando entren en producción los árboles, se tomarán además como variables respuesta, el peso y número de nueces.

BIBLIOGRAFIA

1. CENAMAR, S.A.R.H., (1979) Funcionamiento Hidráulico, Diseño y Evaluación de Sistemas de Riego por Goteo.
2. GODOY A., (1977) Efecto de tres frecuencias de riego sobre el desarrollo del nogal, reporte del CIAN, INIA, SARH. México
3. INIA (1980) Guía Técnica del Nogalero
4. KARMELI. Curso de Riego por Goteo, Archivo CENAMAR
5. KELLER, J. and KARMELI D. (1974) Trickle Irrigation Design Glendora 9170, USA Rain Sprinkler Corporation.
6. KRAMER J. PAUL (1974) Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas.
7. MORENO D.L. (1976-1977) Estudio de cinco poblaciones de lechuga con cinco láminas de riego, utilizando -- riego por goteo, archivo CENAMAR.
8. REYES C. PEDRO (1980) Diseño de Experimentos Aplicados, -- Edición segunda, México 13, D.F.



**Fig 1:- HUMEDECIMIENTO DEL 25 %
DEL AREA (9 Goteros)**

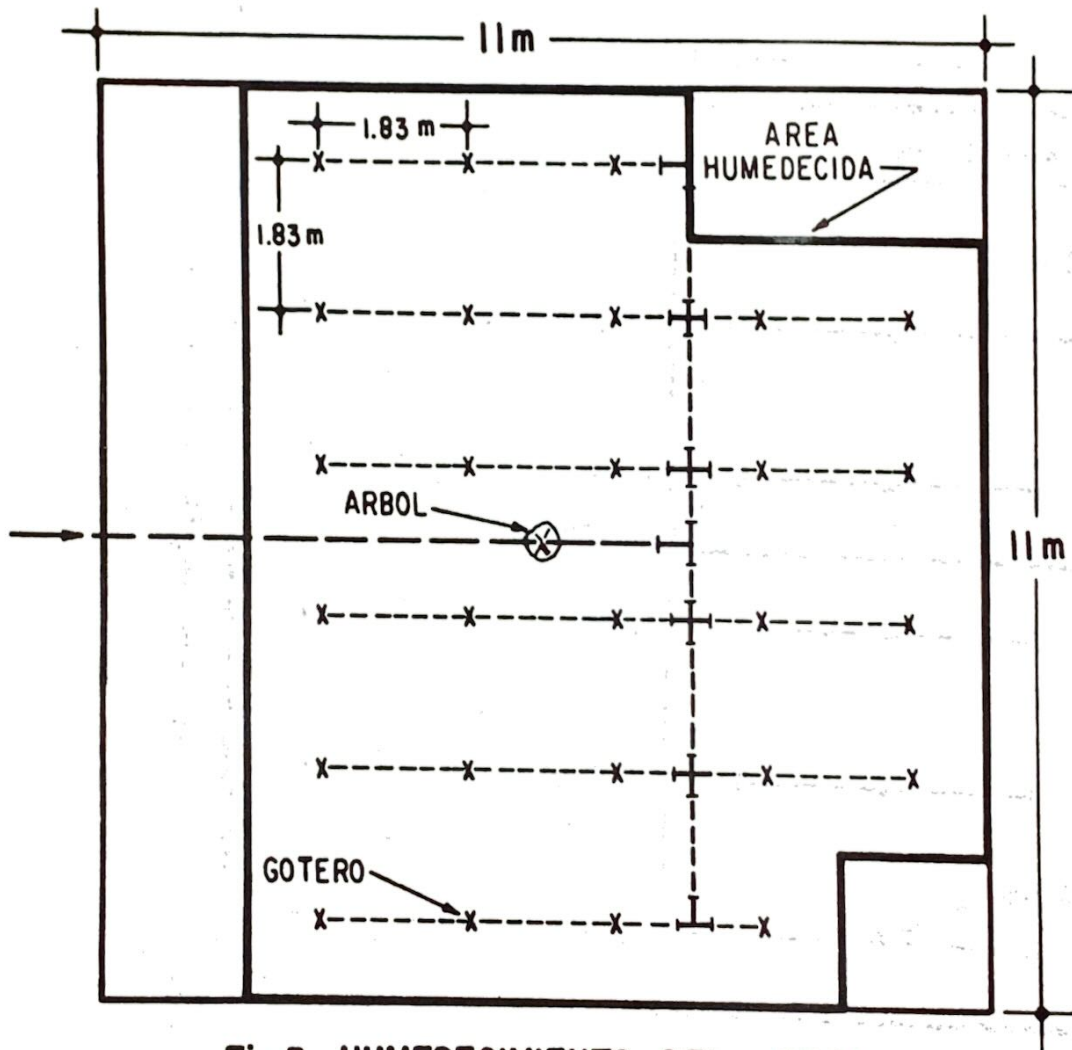


Fig 3.-HUMEDECIMIENTO DEL 75%
DEL AREA (27 Goteros)

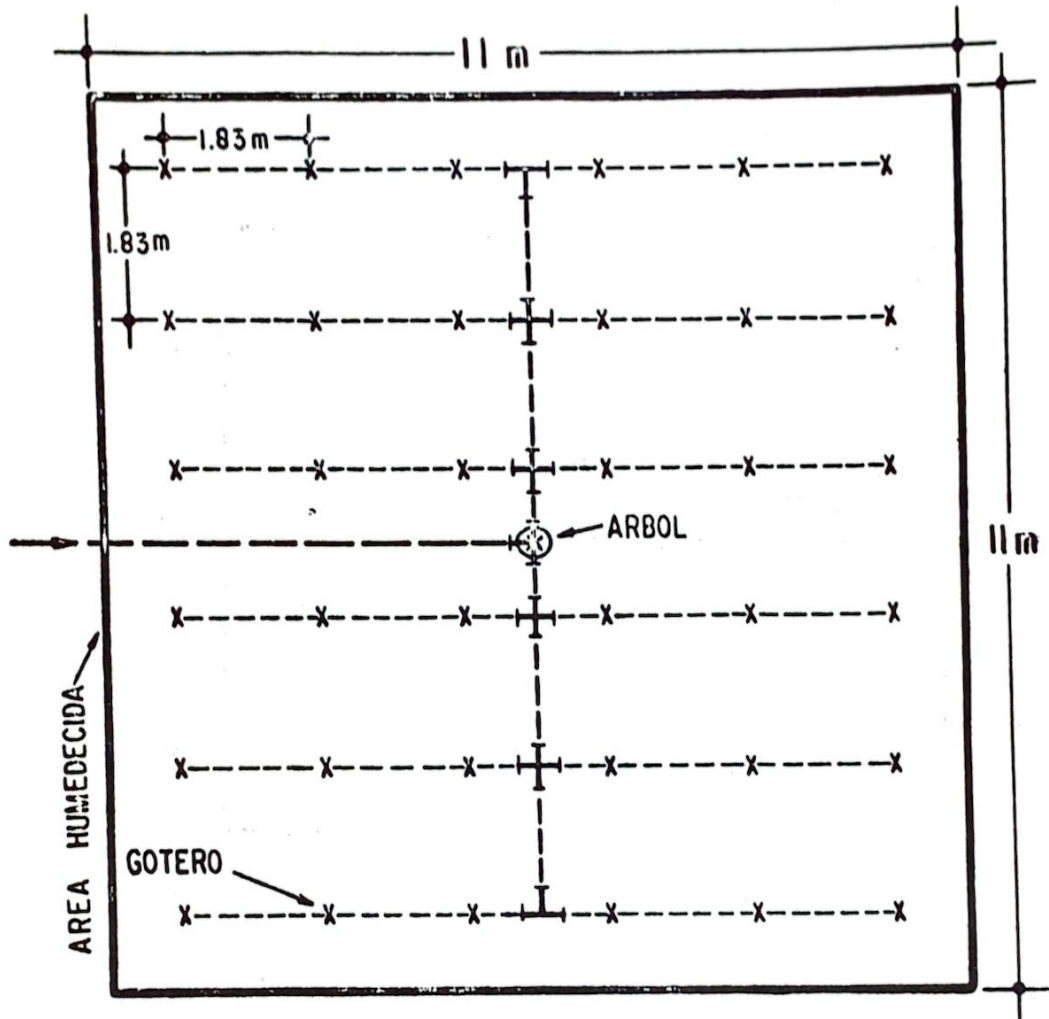


Fig 4.- HUMEDECIMIENTO DEL 100 %
DEL AREA (36 Goteros)

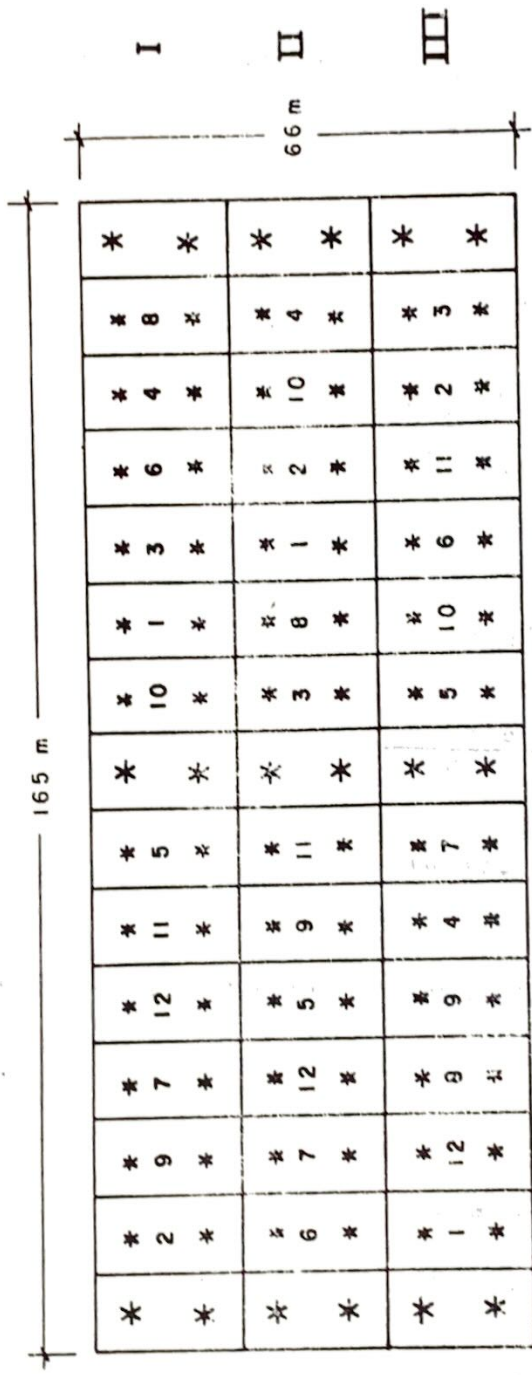


FIG. 5 DISTRIBUCION DE TRATAMIENTOS EN EL CAMPO

El balance que se presenta en Riego por Goteo es el siguiente:

Agua que recibe el suelo = agua que da el gotero

$$L \cdot A = q \cdot t$$

$$L \, dA = q \, dt$$

$$\int_e^A dA = q \int_0^t \frac{dt}{L}$$

$$L = a t^b$$

Sustituyendo el valor de L resulta:

$$A = q \int_0^t \frac{dt}{a t^b}$$

$$A = \frac{q}{a(1-b)} T^{(1-b)}$$

Suponiendo que el suelo es completamente homogéneo y el área formada es circular se tiene:

$$A = \pi r^2$$

Sustituyendo el valor de A en la ecuación:

$$\pi r^2 = \frac{q}{a(1-b)} t^{(1-b)}$$

$$r = \left[\frac{q}{a \pi (1-b)} \right]^{1/2} \left[T^{(1-b)} \right]^{1/2}$$

Donde:

L = Lámina infiltrada

A = Área de aplicación

q = gasto que proporciona el gotero

t = tiempo

a y b = Constantes de regresión de la ecuación de lámina infiltrada.

**IV SEMINARIO LATINOAMERICANO
DE RIEGO POR GOTEO Y RIEGO LOCALIZADO
Barquisimeto, 21 al 27 de junio de 1981**

**ANALISIS DE CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DE MATERIALES
DE RIEGO POR GOTEO UTILIZADOS EN VENEZUELA**

**Alfonso Osorio*
Rafael M. Rojas**
Luis Rázuri R.*****

- * Ex-participante del Curso de Postgrado en Riego y Drenaje del CIDIAT y de la Universidad de Los Andes, Mérida.
- ** Profesor Asociado, CIDIAT, Mérida.
- *** Profesor Agregado, CIDIAT, Mérida.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un análisis de los factores hidráulicos que influyen en el diseño de laterales de riego por goteo, basándose en antecedentes obtenidos experimentalmente y considerando los conceptos de flujo en tuberías.

El estudio tuvo como variables las siguientes: tubería de polietileno de tres diámetros diferentes y longitudes de 50, 40, 30 y 20 metros; dos tipos de goteros, uno inserto en el eje longitudinal y otro con inserción de púa; espaciamientos entre goteros correspondientes a 6, 3, 1,5 y 0,75 metros y seis presiones de entrada, logradas con elevaciones de la fuente de agua a alturas de 15; 12,5; 10; 7,5; y 2,5 metros.

Una vez terminadas las pérdidas de carga en tuberías sin goteros, se pudo constatar la buena correlación entre éstas y las obtenidas con las fórmulas de Hazen-Williams y Darcy-Weisbach, existiendo diferencias apreciables entre los valores absolutos obtenidos y los dados por las fórmulas.

El estudio indica que el coeficiente de fricción C , utilizado en la fórmula de Hazen-Williams, es función del número de Reynolds y no es constante, como normalmente se utiliza en diseño. El factor de fricción f , usado en la ecuación de Darcy-Weisbach, al ser representado en función del Número de Reynolds, conforma una línea recta que está por debajo de la línea de tuberías lisas, obtenida con la ecuación de Blasius.

En relación a tuberías con goteros o laterales, se pudo constatar que las pérdidas de carga son mayores cuando se utilizan goteros insertados en la línea y a su vez cuando están en alto número en la tubería. Al expresar la pérdida de carga como un porcentaje de la presión de operación, resultó que cuando las presiones de operación disminuyen, esta relación aumenta, debido a la menor variación que tiene la pérdida de carga en relación a la de la presión de operación.

Obtenida la distribución de presiones y pérdida de carga de todas las combinaciones de variables en estudio se pudo comprobar que cuando el flujo en la lateral es más turbulento, la distribución es menos uniforme que cuando el flujo es predominante laminar.

Calculado el factor F utilizado para obtener las pérdidas de carga en laterales, sin descontar las pérdidas por fricción de los goteros, se puede apreciar que depende no sólo del número de goteros sino del diámetro de la tubería, del espaciamiento entre goteros, del tipo de goteros y de la presión de operación del sistema.

Determinadas las pérdidas unitarias y longitudes equivalentes por gotero, se ve que difieren con los valores entregados por la literatura.

Con toda la información lograda, se entregan, al final del trabajo, diferentes curvas que relacionan la pérdida de carga en laterales de distinta longitud, para una determinada presión de operación, tipo y espaciamiento de goteros.

INTRODUCCION

El presente trabajo, es una síntesis de las investigaciones realizadas por el Ing. Alfonso Osorio Ulloa, con el asesoramiento de los profesores: Rafael Rojas y Luis Rázuri del Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT).

En la investigación se pretendió evaluar algunos materiales para Riego por Goteo utilizado en Venezuela. Para ello se utilizaron materiales fabricados y/o vendidos por GEMACA C.A.

La investigación fue realizada en una estructura construida en el laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Los Andes.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Los objetivos del estudio fueron los siguientes:

- a) Determinación de la pérdida de carga por fricción en tuberías de polietileno de fabricación nacional de tres diámetros diferentes.
- b) Determinación de ecuaciones de descarga de dos tipos de goteros utilizados, cuya diferencia estriba en su forma de conexión al lateral.
- c) Determinación de pérdidas de carga en tuberías con goteros, a diferentes presiones de operación, considerando combinación de diámetros, tipo de gotero y número de goteros en la línea según espaciamiento.
- d) Análisis de los factores C y f utilizados en las fórmulas de Hazen-Williams y Darcy-Weisbach, respectivamente.
- e) Determinación del factor de reducción F , utilizado para condiciones del sistema en funcionamiento y en este caso con baja densidad de goteros en la línea.
- f) Cálculo de las pérdidas producidas por gotero y equivalencia expresada en longitud de tubería.
- g) Obtención de relaciones matemáticas útiles, para facilitar y asegurar mayor consistencia al diseño de riego por goteo.

MATERIALES, EQUIPOS Y PROCEDIMIENTO

Las Figuras 1 y 2 y el Cuadro 1 muestran los equipos y materiales utilizados. El procedimiento seguido consistió en realizar mediciones de pérdida de carga con la finalidad de determinar las pérdidas por fricción.

RESULTADOS

Las Figuras 3 a 12 y el Cuadro 2 muestran algunos de los resultados obtenidos en el experimento y que serán expuestos en las conclusiones y recomendaciones.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hecha la presentación y discusión de los resultados obtenidos en el trabajo realizado, las conclusiones y recomendaciones que se desprenden de él serían las siguientes:

- i) Las pérdidas de carga totales en tuberías sin goteros (simples), expresadas como una función potencial del caudal, presentan un exponente promedio igual a 1,6705, inferior al utilizado en otras funciones matemáticas del mismo tipo.
- ii) Al efectuar una comparación entre las pérdidas de carga obtenidas experimentalmente, con las calculadas a través de las fórmulas de Hazen-Williams y Darcy-Weisbach, se observa que existe alta correlación entre los valores, a pesar de existir una diferencia apreciable entre los valores absolutos, explicable por la inclinación de la recta de regresión.
- iii) El coeficiente de fricción C , utilizado en la fórmula de Hazen-Williams, no es un valor constante como normalmente se le utiliza en diseño, sino que dependerá de las características del flujo y del diámetro de la tubería, factores que se pueden agrupar en un parámetro adimensional conocido como Número de Reynolds.

- iv) El factor de fricción f , utilizado en la fórmula de Darcy-Weisbach, graficado en función del número de Reynolds, tiene un comportamiento inferior al obtenido por Blasius en el caso de tuberías lisas, sin embargo, las diferencias no son significativas.
- v) Los goteros utilizados, especificados para 4 litros por hora, logran el caudal indicado si funcionan a una presión de operación de 9,15 metros, los pequeños y 9,40 metros los grandes, coincidentes aproximadamente con lo establecido en las curvas de descarga del fabricante.
- vi) Para una misma condición de diámetro de tubería, presión de operación y espaciamiento entre goteros, se presentó una mayor pérdida de carga cuando existían goteros clasificados como grandes, especialmente en las tuberías de menor diámetro, producto del área interceptada por el gotero. En cuanto a espaciamiento, las pérdidas aumentaron a medida que el espaciamiento disminuyó.
- vii) Al calcular las pérdidas de carga totales como un porcentaje de la presión de operación, los valores mayores se obtuvieron en el caso de goteros pequeños en la tubería de menor diámetro, con mayor densidad de emisores y con longitud de 50 metros, y en goteros grandes cuando la longitud fue de 50 y 40 metros y los diámetros y el número de goteros era el mismo anterior. Se produjo un aumento del porcentaje de pérdida de carga cuando la presión de operación disminuyó, lo cual se explica por la distinta variación que tiene la pérdida de carga y la presión de operación, ésta última lo hace con el cuadrado del caudal y la primera varía con el caudal elevado a un exponente promedio de 1,6705.
- viii) Existe una gran variedad de situaciones que se presentan en cuanto a regímenes de flujo en lateral, dependiendo del diámetro de la tubería, del caudal total erogado por los goteros y de la presión de operación. En ciertas condiciones el flujo será totalmente turbulento en gran parte del lateral, transformándose en laminar en la última sección. En otras ocasiones solamente existe turbulencia en los primeros tramos y principalmente es laminar en todos los tramos cuando el número de go-

teros es bajo. Todo esto hace más complicado el diseño de estas unidades de riego por goteo.

- ix) Se pudo constatar que generalmente se cumple lo indicado en la literatura en relación a que, aproximadamente, en el 40% inicial de la longitud de la tubería se produce el 77% de las pérdidas totales, cuando el número de goteros y el diámetro de la tubería son los apropiados, y se presenta flujo turbulento. Cuando el flujo es laminar la distribución de presiones en la lateral es más lineal.
- x) El factor F , utilizado para calcular las pérdidas de carga en laterales a partir de tuberías sin goteros, depende del tipo de goteros utilizados, del espaciamiento entre ellos y del diámetro de la tubería que se use, obteniéndose valores superiores a la unidad, cuando existen pocos goteros en la línea y el flujo es netamente laminar.
- xi) Las pérdidas de carga promedio por gotero, fueron mayores en el caso de goteros grandes, disminuyendo la pérdida cuando disminuye el espaciamiento. Las longitudes equivalentes encontradas no superan 1,134 metros en goteros pequeños y 1,777 metros en goteros grandes.
- xii) Desde el punto de vista hidráulico, la longitud óptima del lateral será función de las pérdidas de carga permisibles en ella, del tipo de gotero y del espaciamiento entre ellos, del diámetro de la tubería que se utilice y de la presión de operación que se adopte.
- xiii) En virtud de las variaciones encontradas, en relación al factor de corrección F , sería recomendable realizar una investigación más específica sobre el tema; considerando por una parte la variación del factor respecto a la presión de operación del sistema y por otra la variación que experimenta según el número y tipo de goteros y según el diámetro de la tubería, características, todas, relacionadas en alguna forma, con las condiciones de escurrimiento en la lateral.
- xiv) También es recomendable, dada la escasa información existente, someter a experimentación, aquellos materiales y elementos, utilizados en riego por goteo y que se producen actualmente en el país; con lo cual se estarían generando antecedentes de gran utilidad y que harían más consistente el diseño del método en referencia.

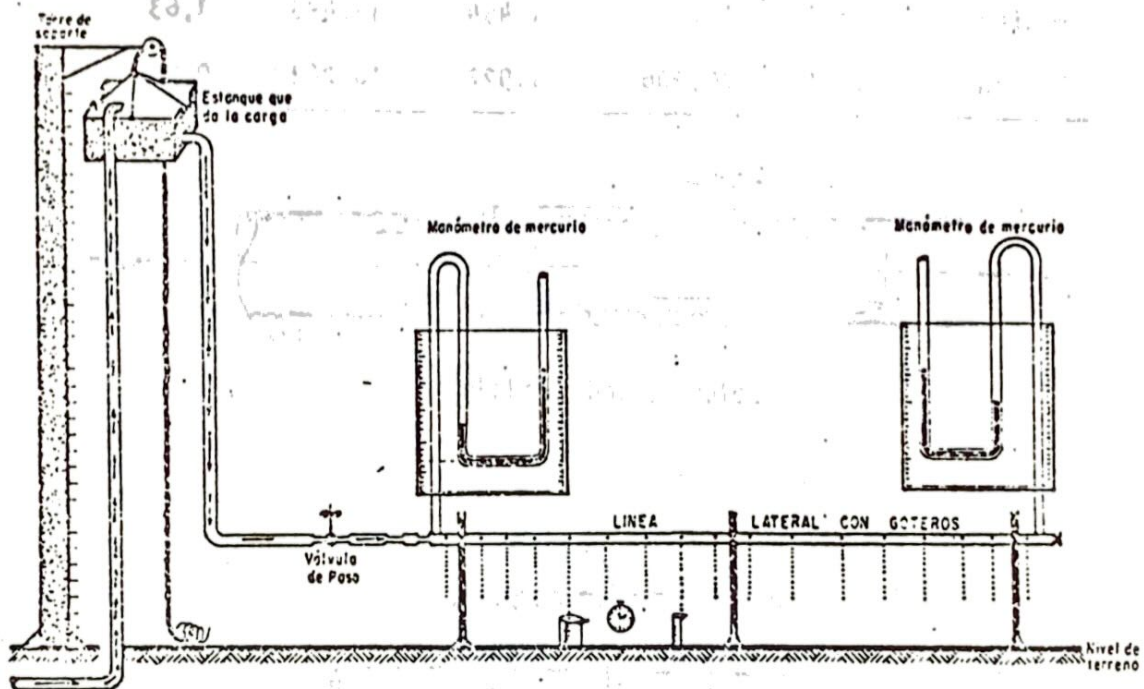
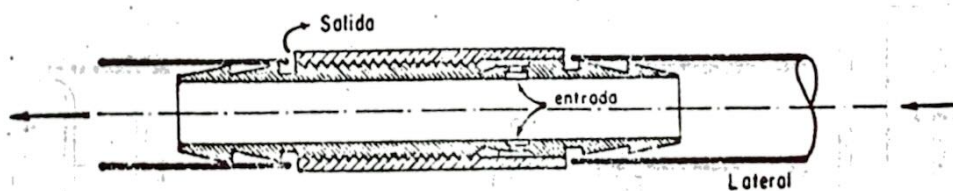


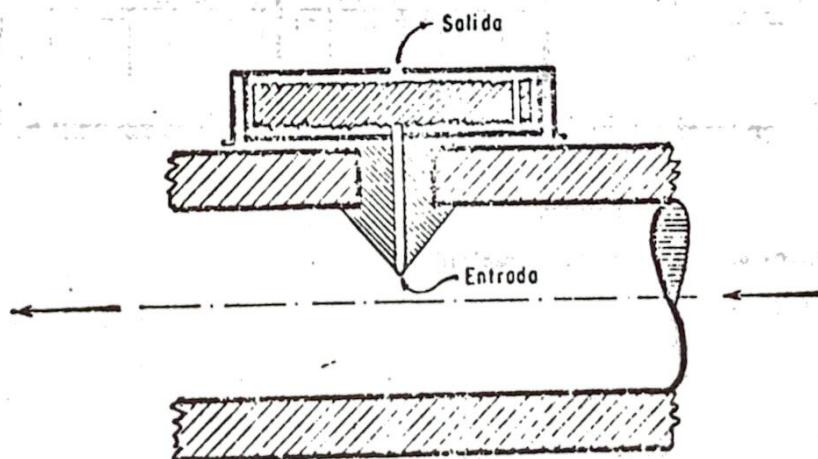
Figura 1. Esquema de la estructura de medición

Cuadro 1. Dimensiones de las tuberías

Clasificación Nominal	Diámetro Externo Comercial	Diámetro Externo Real (mm)	Espesor de la pared (mm)	Diámetro Interno (mm)	Achataamiento
Delgada	12,5	12.766	1.266	10.234	3,90
Mediana	16,0	16.356	1.454	13.448	1,63
Gruesa	20,0	20.106	1.922	16.262	0,95



Gotero Grande (en la línea)



Gotero Pequeño (Púa)

Figura 2. Esquema de los tipos de goteros utilizados

Cuadro 2. Pérdidas de carga (hf) en laterales de diferentes diámetros y longitud; espaciamento y tipo de goteros y para diferentes presiones de operación.

D.I = 10,234 mm; Goteros Pequeños																
H.T. (m)	L = 50 m				L = 40 m				L = 30 m				L = 20 m			
	E-6	E-7	E-1,5	E-C,75	E-6	E-7	E-1,5	E-C,75	E-6	E-7	E-1,5	E-C,75	E-6	E-7	E-1,5	E-C,75
15.	0,1661	0,2496	0,3612	1,4949	0,0616	0,1551	0,0433	1,9056	0,0190	0,0762	0,2202	0,9201	---	0,0239	0,0757	0,2543
12,5	0,1332	0,2059	0,7798	2,3793	0,0593	0,1201	0,4158	1,6249	0,0356	0,0574	0,1834	0,7781	0,0314	0,0237	0,0590	0,2504
10.	0,1223	0,1694	0,6804	2,3473	0,0434	0,1088	0,3537	1,3402	0,0306	0,0466	0,1567	0,6370	---	---	0,0715	0,2015
7,5	0,1032	0,1283	0,5104	1,7923	0,0354	0,0988	0,2608	1,0248	---	0,0457	0,1379	0,5047	0,0241	0,0159	0,0530	0,1624
5.	0,0734	0,1073	0,3700	1,2744	0,0324	0,0764	0,1942	0,7308	0,0175	0,0374	0,1019	0,3642	0,0185	0,0136	0,0401	0,1226
2,5	0,0576	0,0699	0,2225	0,6858	---	0,0576	0,1282	0,4154	---	0,0279	0,0758	0,1977	---	---	0,0272	0,0705
D.I = 10,234 mm; Goteros Grandes																
15.	0,1129	0,2706	1,1576	4,1575	0,0631	0,1422	0,6044	2,4862	0,0464	0,0808	0,2861	1,2070	0,0243	0,0270	0,0932	0,3947
12,5	0,0966	0,2273	0,9684	3,3420	0,0535	0,1409	0,5077	2,0920	---	0,0782	0,2863	1,0356	---	---	0,0842	0,3074
10.	0,0833	0,1930	0,7993	2,8185	0,0476	0,1217	0,4151	1,7441	---	---	0,1961	0,8246	0,0191	0,0248	0,0803	0,2987
7,5	0,0752	0,1614	0,6182	2,1376	0,0393	0,1039	0,3216	1,2977	---	0,0509	0,1243	0,6224	0,0143	0,0223	0,0580	0,2015
5.	0,0591	0,1055	0,4160	1,2907	---	0,0760	0,2165	0,8792	0,0261	0,0369	0,1110	0,4296	0,0092	---	0,0534	0,1355
2,5	0,0395	0,0918	0,2235	0,7291	0,0324	0,0576	0,1362	0,4594	0,0171	0,0227	0,0673	0,2375	---	0,0136	0,0272	0,0923
D.I = 11,448 mm; Goteros Pequeños																
15.	---	0,0620	0,2963	0,9291	0,0319	0,0542	0,2452	0,5083	0,0180	0,0433	0,0807	0,2421	0,0192	---	0,0541	0,0727
12,5	---	0,0692	0,2530	0,7679	---	0,0520	0,4204	---	---	0,0540	0,2164	0,0101	0,0387	---	0,0677	
10.	0,0304	0,0522	0,2108	0,6233	0,0250	0,0480	0,3091	0,3446	0,0175	0,0250	0,0477	0,1696	---	0,0233	0,0369	0,0648
7,5	---	0,0508	0,1507	0,4284	---	0,0292	0,0812	0,2734	0,0102	0,0273	0,0399	0,1373	---	0,0214	0,0272	0,0517
5.	0,0304	0,0339	0,1276	0,3745	---	0,0408	0,0573	0,2109	---	0,0273	0,0373	0,0377	---	0,0209	0,0223	0,0425
2,5	0,0266	0,0401	0,0860	0,2310	0,0251	0,0272	0,0402	0,1187	0,0052	0,0149	---	0,0799	0,0049	0,0136	0,0182	0,0401
D.I = 11,448 mm; Goteros Grandes																
15.	0,0400	0,0390	0,3050	1,2237	0,0223	0,0633	0,1548	0,6263	0,0272	0,0361	0,0713	0,2932	0,0123	0,0317	0,0453	0,1751
12,5	0,0396	0,0623	0,2496	0,9793	0,0235	0,0369	0,1283	0,5248	0,0208	0,0276	0,0619	0,2332	0,0204	0,0234	0,0408	---
10.	0,0302	0,0472	0,2263	0,8003	---	0,0351	0,0958	0,4361	---	0,0236	0,0430	0,1933	---	0,0138	0,0306	0,0672
7,5	0,0359	0,0453	0,2614	0,9139	0,0193	0,0269	0,0812	0,3300	---	0,0202	0,0370	0,1420	---	0,0136	0,0335	0,0553
5.	0,0311	0,0353	0,0929	0,4022	---	0,0237	0,0544	0,2359	0,0198	---	0,0309	0,1064	---	0,0034	0,0091	0,0316
2,5	0,0224	0,0293	0,0747	0,2190	0,0143	---	0,0202	0,2275	0,0246	---	0,0235	0,0715	0,0062	---	---	---
D.I = 16,267 mm; Goteros Pequeños																
15.	0,0315	---	0,1013	0,3551	0,0216	0,0328	0,0598	0,1946	0,0104	0,0140	0,0335	0,0908	0,0095	---	0,0126	0,0339
12,5	0,0278	---	0,0998	0,3023	0,0195	0,0318	0,0442	0,1674	0,0115	0,0123	0,0222	0,0791	0,0058	0,0060	0,0110	0,0414
10.	0,0214	0,0368	0,0836	0,2537	0,0210	0,0298	0,0433	0,1315	---	0,0144	---	0,2653	---	0,0763	---	0,2252
7,5	0,0210	0,0361	0,0619	0,2034	0,0170	---	0,0344	0,1039	0,0094	---	0,0203	0,0516	0,0020	---	0,0106	0,0273
5.	0,0136	0,0206	0,0477	0,1611	0,0129	0,0153	0,0244	0,0713	---	0,0045	---	0,0372	---	0,0015	0,0094	0,0263
2,5	---	0,0192	0,0317	0,0963	---	---	---	0,0999	---	---	---	0,0232	---	---	0,0053	0,0144

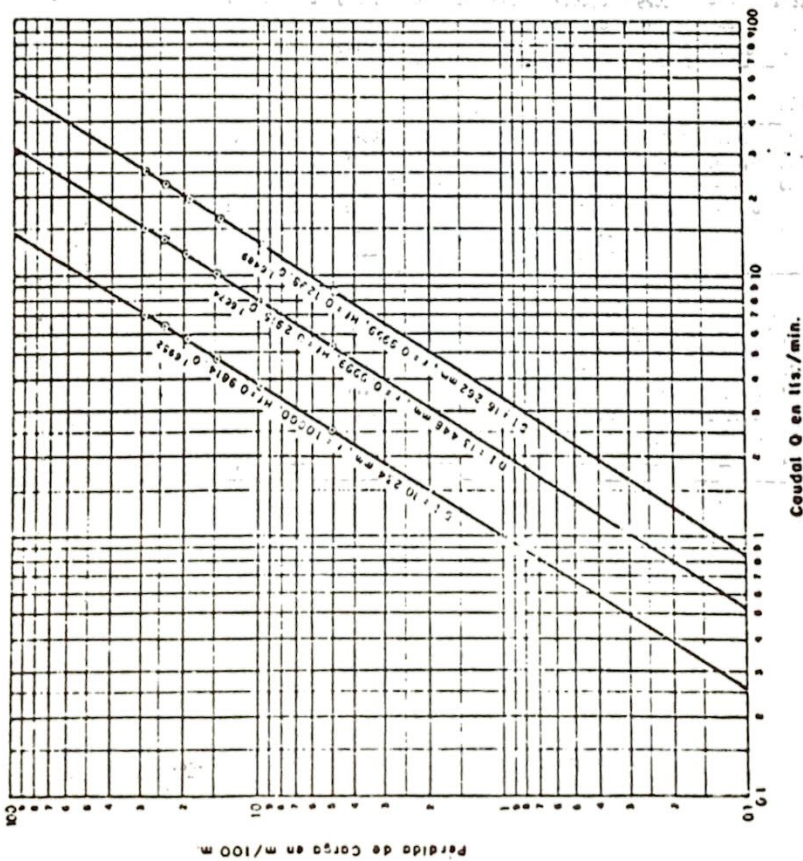


Figura 3. Pérdidas de carga en tuberías de polietileno de tres diámetros diferentes. Promedio de 14 repeticiones.

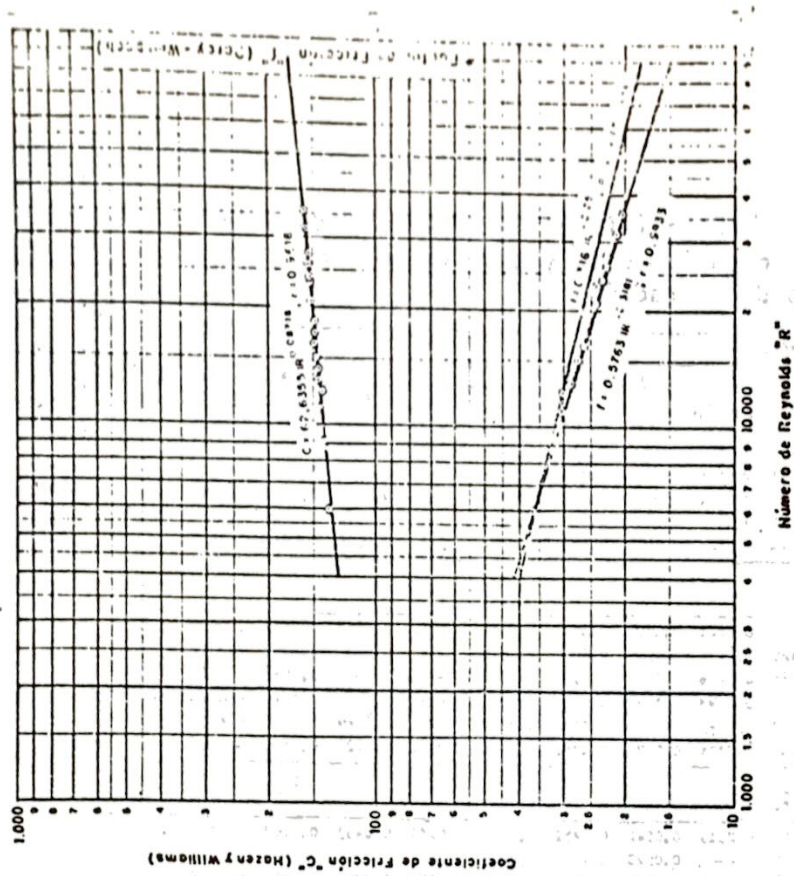


Figura 4. Variaciones de coeficiente "C" de Hazen y Williams y del factor de fricción "f" de Darcy-Weisbach con respecto al Número de Reynolds.

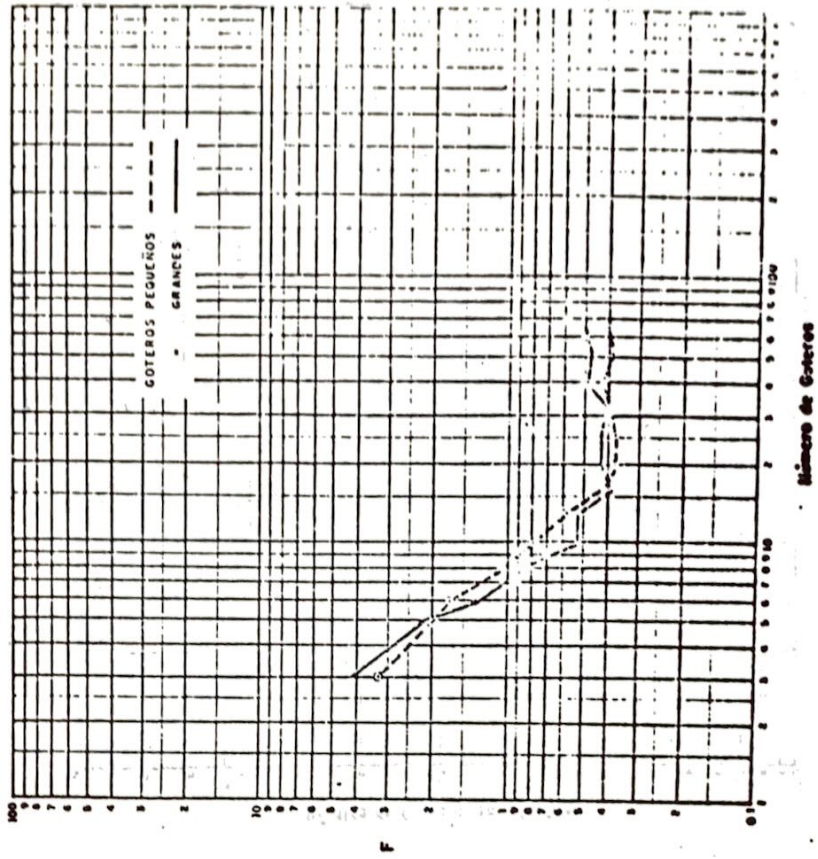


Figura 6. Variación del factor F, respecto al número de góteros en lateral D.l. = 13.448 mm.

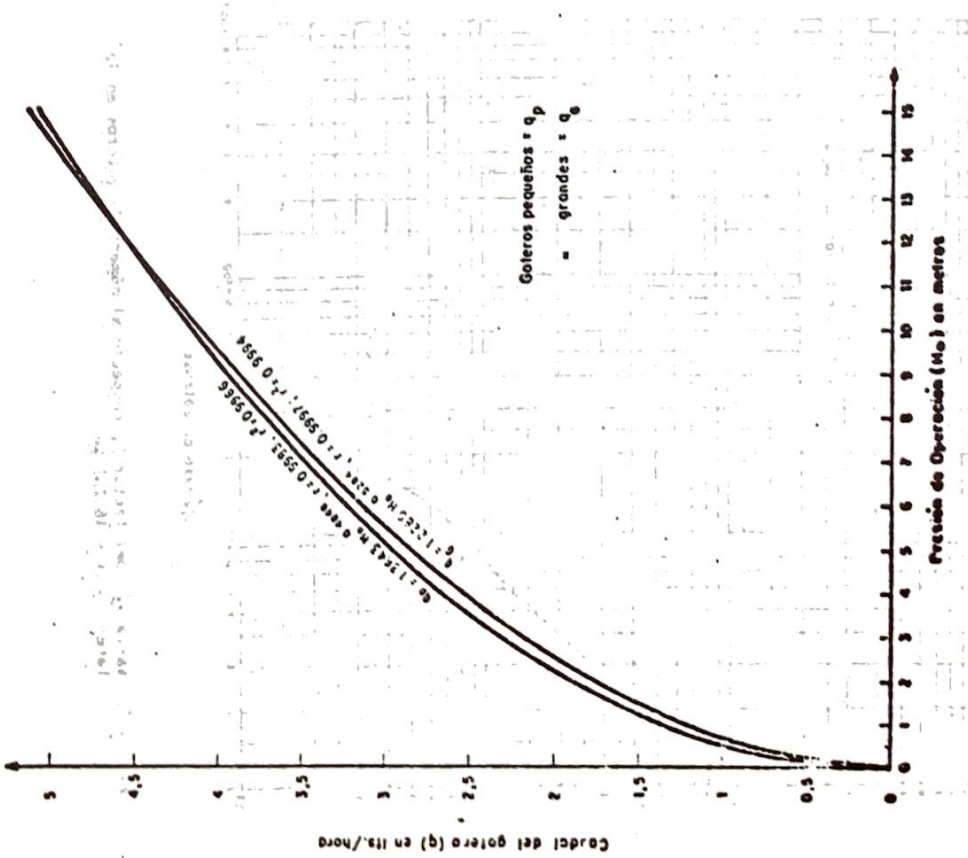


Figura 3. Curvas de descarga de los góteros utilizados.

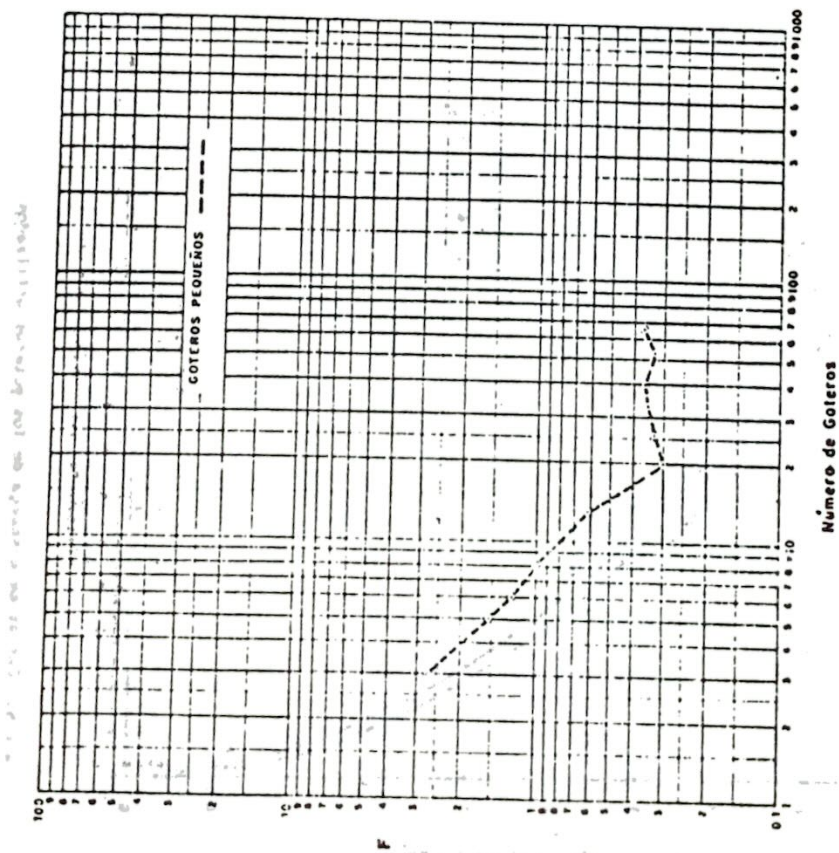


Figura 7. Variación del factor F, respecto al número de goteros en la lateral D.I = 16.262 mm.

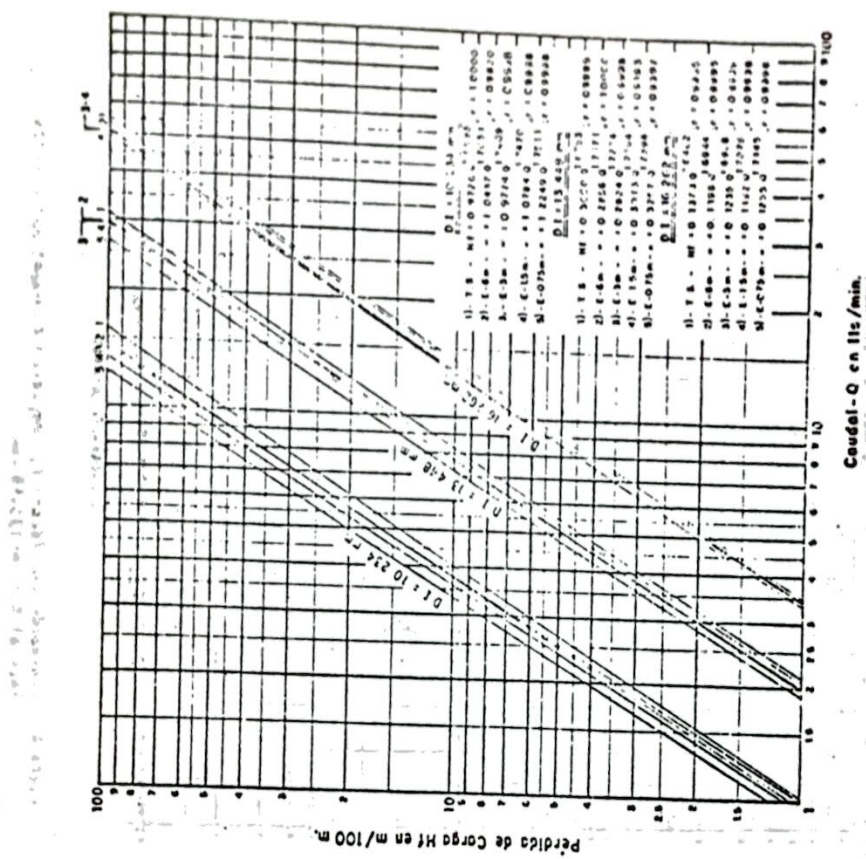


Figura 8. Pérdidas de carga en laterales de diferentes diámetros; con goteros pequeños tapados a distintos espaciamientos.

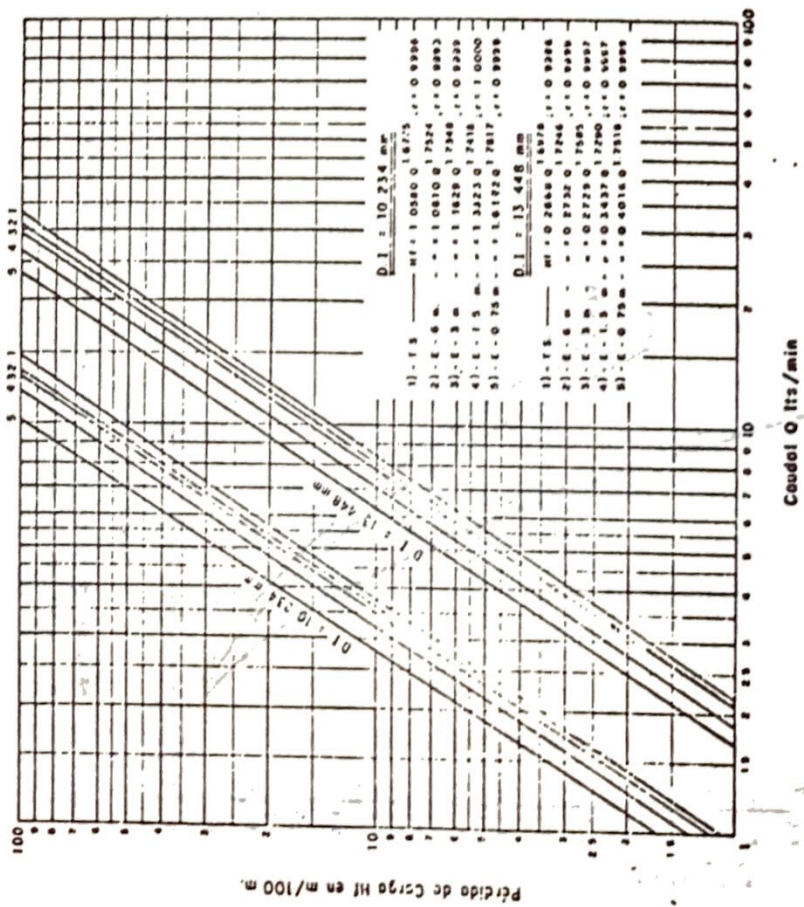


Figura 9. Pérdidas de carga en laterales de diferentes diámetros con goteros grandes tapados a distintos espaciamientos.

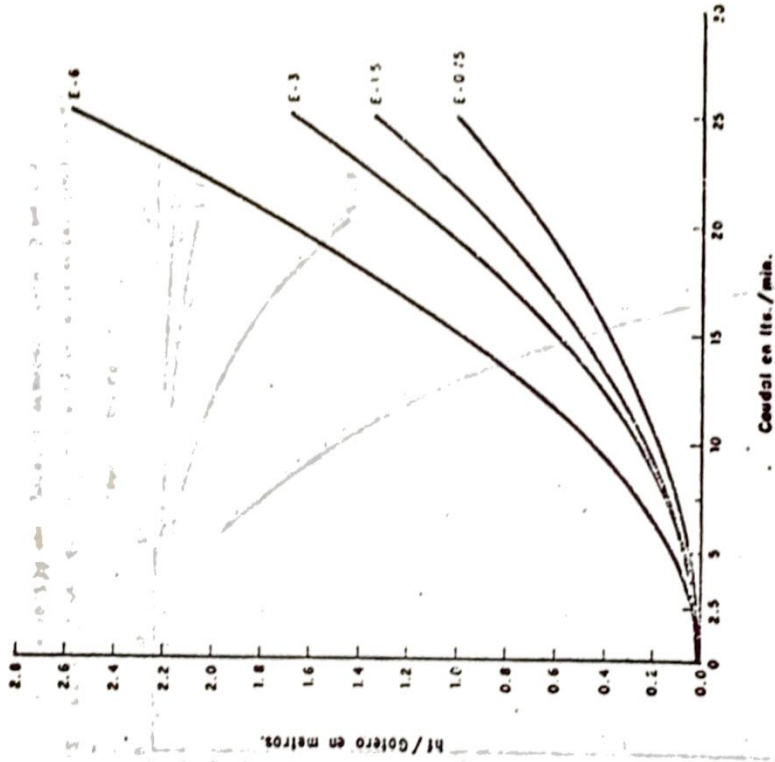


Figura 10. Pérdidas de carga por gotero según distintos caudales D.I. = 10.234 mm, gotero pequeño.

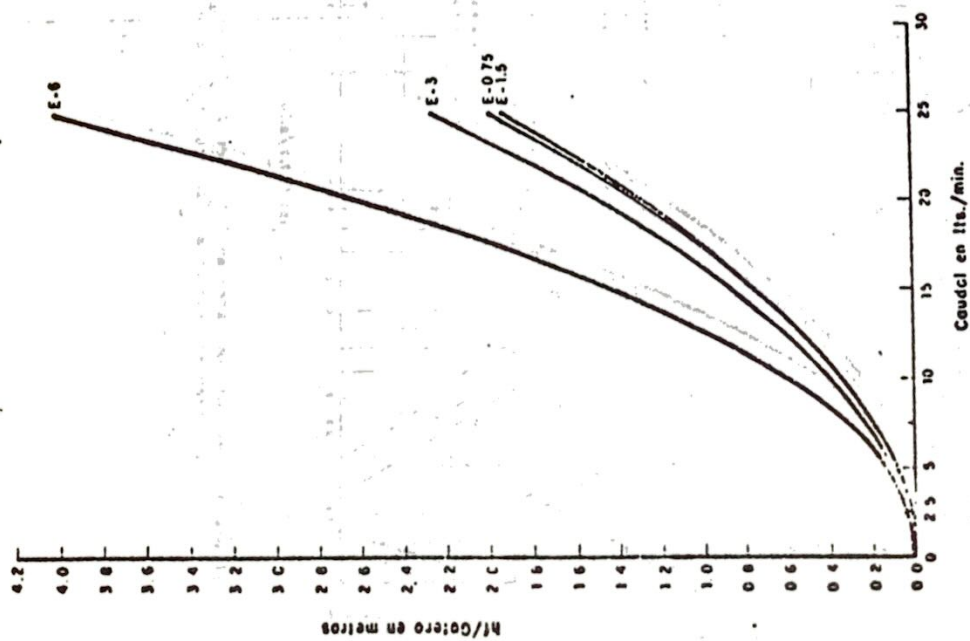


Figura 11. Pérdidas de carga por gotero según distintos caudales
D.I. = 10.234 mm, gotero grande.

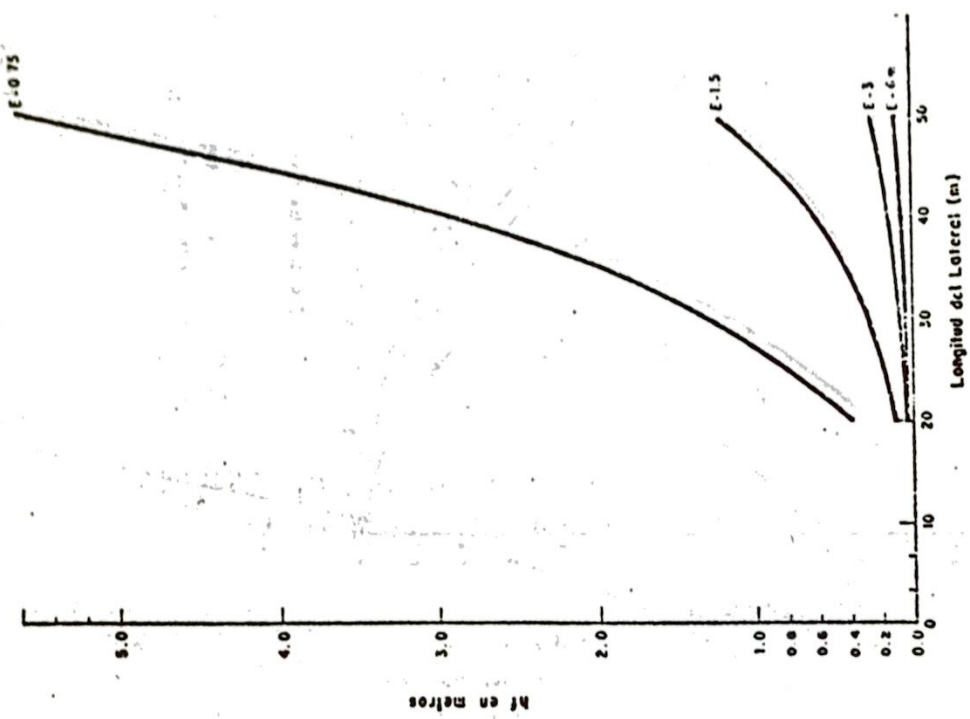


Figura 12. Pérdidas de carga en laterales de diferentes longitudes;
D.I. = 10.234 mm, goteros grandes; $H_0 = 15$ metros.

CONSERVACION DE SUELOS Y RIEGO LOCALIZADO EN HUERTOS
DE NARANJOS Y LIMONEROS EN URUGUAY

José Barrios
Especialista en Conservación y Manejo de
Tierras y Aguas
IICA/Uruguay

1. INTRODUCCION

La elevada productividad y el rápido desarrollo que muestran los frutales cítricos en el país y la buena aceptación que las naranjas, limones y pomelos del Uruguay tienen en los mercados del norte de Europa, ha creado interés por ampliar las plantaciones de naranjos y limoneros existentes y por establecer nuevos huertos en diversas regiones del país, principalmente en la región litoral al Río Uruguay.

El establecimiento de nuevos huertos se encuentra con tres problemas principales que son: la erosión y arrastre del suelo que disminuye la productividad y termina por descubrir las raíces de los árboles; las heladas y la ocurrencia ocasional de meses secos durante el verano. Por estas razones los nuevos huertos que se están estableciendo incluyen estructuras de conservación de suelos y en algunos casos, riego.

Algunas soluciones que los citricultores han ensayado utilizan canales en curva de nivel que cumplen la doble función de interceptar el escurrimiento superficial y distribuir el agua de riego. En este trabajo se describe brevemente un proyecto privado para establecer 1.000 has. de naranjos y limoneros en una propiedad de 1,870 has. localizada en el Departamento de Paysandú en Uruguay. El proyecto incluye construcción de terrazas de base angosta junto con fajas empastadas para control del escurrimiento superficial, y riego localizado por micro aspersores nebulizadores (spot mister).

2. SELECCION DE LA PROPIEDAD Y ESTUDIOS BASICOS PRELIMINARES

2.1. Fisiografía de la propiedad

Después de examinadas varias propiedades fueron seleccionadas -mediante un mapa de reconocimiento de suelos Esc. 1 a 20.000- alrededor

de 1.900 has. de suelos de drenaje bien definido, con interfluvios amplios, alargados y relativamente planos (2% de declive longitudinal), aptos para agricultura.

La propiedad se caracteriza por encontrarse en ella las nacientes de un arroyo pequeño, de esta forma los límites de la misma coinciden más o menos con la línea divisoria de las aguas del micro-sistema hidrográfico del arroyo principal del predio. Las micro-cuencas de los arroyos tributarios presentan sus cabeceras en forma de anfiteatro.

Las tierras bajas que bordean los arroyos no representan gran superficie y tienen lógicamente limitaciones de drenaje. Las laderas que se extienden entre los interfluvios y las tierras bajas son convexas en su parte superior y ligeramente cóncavas en su pie, tienen longitudes entre 250 y 500 metros y su declive es de 3 a 5%.

El arroyo principal tiene un desnivel de 0,37% dentro de la propiedad.

2.2. Mapa detallado (1 a 10.000) de suelos y estudio pedológico

Los suelos de los interfluvios y laderas presentan un horizonte A Franco arenoso de 40 a 60 cm de profundidad sobre un B Arcillo-arenoso que alcanza a 85 ó 100 cm de profundidad. El material original que existe bajo esa profundidad es una arenisca (sandstone) de grano fino de origen cretáceo constituida por cuarzo y feldespatos y cementada por montmorillonita cálcica. Las tierras bajas contiguas a los drenes son de origen aluvial con perfil profundo y alternancia de colores y texturas y presentan drenaje limitado.

2.3. Estudios de riego

Para fines de riego fueron determinados en los suelos de interfluvios y laderas los valores de densidad aparente y contenido de agua a 0,1 y 15 Atmósferas de tensión. La porosidad total se calculó en base a

la densidad aparente y real y la micro-porosidad se consideró igual al contenido volumétrico de agua en equilibrio con 0,1 Atmosferas de tensión (Capacidad de campo). La macro-porosidad se obtuvo por diferencia entre la porosidad total y la micro-porosidad. Los valores obtenidos fueron los siguientes:

Item	Unidad	Horizonte	
		A	B
Densidad aparente	gr/cm ³	1,26 a 1,43	1,44 a 1,48
Macro-porosidad	%	18,83 a 28,03	4,74 a 9,29
Cap. de campo	mm/10 cm	18,28 a 28,77	33,3 a 39,7
Coef. de marchitex	mm/10 cm	5,76 a 14,74	20,7 a 26,3
Agua disponible	mm/10 cm	12,52 a 15,17	9,76 a 14,04

Los valores de evapotranspiración potencial para el área fueron calculados por la relación $ETP = \text{Evaporación de tanque} \times 0,57$; y mediante análisis estadístico de las lluvias del área se determinaron las láminas de riego siguientes:

0	mm	en años lluviosos
98	mm	en años medios
304	mm	en años secos

Afectando estas láminas de riego de una eficiencia de 75% se determinaron tasas anuales de riego de $4.000 \text{ m}^3/\text{ha}$. y se precisó la necesidad de acumular por lo menos 4 millones de m^3 para regar las 1.000 has. proyectadas.

2.4. Mapa en curvas de nivel y estudios hidrológicos

Este mapa a Escala 1 a 5.000 con curvas de nivel a 2 m fue solicitado al Instituto Geográfico Militar. El trabajo fue realizado por restitución fotogramétrica con apoyo del campo. Para esto último fue necesario el trabajo de campo de 15 personas del referido Instituto durante dos semanas. El mapa quedó listo en dos meses a un costo de 3 dólares por ha.

Sobre este mapa y en base a las cuencas hidrográficas disponibles se estableció la posibilidad de acumular 7,5; 3,9 y 1,75 millones de m³ de agua en años lluviosos, años medios y años secos respectivamente y fueron proyectadas las siguientes represas:

Número	Cuenca has.	Cota m.	Superficie has.	Volumen m ³ de agua	Terraplén m ³ de tierra
1	460	116	73	1.663.000	50.000
2	340	117	41	791.000	32.000
3	1.100	106	150	3.273.000	73.000
Totales	1.900		264	5.727.000	155.000

3. TRABAJOS DE CONSERVACION DE SUELOS

3.1. Programación

En posesión del mapa de curvas de nivel, del mapa de suelos, de los estudios de riego y de fotografías aéreas 1 a 20.000, se programaron en el mapa 1 a 5.000 los trabajos de conservación siguientes:

3.1.1. Delimitación de la superficie para plantación de citrus y para forestación. La primera quedó integrada por los interfluvios y las laderas y el resto del predio se destinó a forestación con "eucaliptus grandis" y álamos.

3.1.2. Marcación en las superficies delimitadas, de las líneas divisorias de las aguas en sentido longitudinal y transversal. Estas líneas señalan la red vial interna.

3.1.3. Marcación de los colectores naturales de aguas lluvias y proyecto de otros que sean necesarios para mantener una longitud de terrazas menor de 250 metros.

De lo anterior y en general, resulta un camino longitudinal en el centro del interfluvio o "espigón", y una red formada por caminos transversales y colectores de aguas lluvias cada 500 metros.

3.1.4. Marcación de terrazas

Estas estructuras se marcan con un intervalo vertical de 1,10 m a 1,30 m y con pendientes longitudinales de 3 por mil que aumenta a 5 por mil a la salida de la terraza. La longitud se mantiene entre 150 y 200 m y en caso necesario, entre 50 y 300 m. Resulta una distancia de 25 a 30 metros entre terrazas.

3.1.5. Marcación de hileras de árboles

Se traza la primera hilera paralela a la terraza superior y se mantiene una distancia de 7,5 m entre hileras y de 3 m sobre la hilera. Cuando los árboles alcanzan pleno desarrollo (10 años), se eliminará un árbol por medio.

3.1.6. Codificación del huerto

Cada interfluvio o sector se identifica con un número y dentro de él se identifica cada sub-sector entre colectores con una letra. Dentro de cada sub-sector se identifica cada hilera de árboles con un número y dentro de cada hilera se identifica cada árbol con otro número.

3.2. Construcción de las terrazas

El suelo fue arado y nivelado con rastrón rústico y escarificado con arado cincel. Las terrazas fueron estacadas en el campo y construidas con motoniveladora. Los colectores naturales fueron reacondicionados, en caso necesario, y se construyeron los que faltaban.

Para la construcción de las terrazas sólo se movió tierra de arriba con el objeto de impedir la formación de un canal inferior paralelo a la terraza. El camellón de la terraza tiene 2,00 m de ancho en su base y 0,60 m de altura. El canal de la misma tiene 2,50 m de ancho de fondo y un talud superior de 3 a 1. En total, la terraza resulta de unos 6 ó 7 m de ancho según la pendiente del terreno, y debe permanecer permanentemente empastada.

llegar a los micro-aspersores con una presión de 1,5 km/cm² necesaria para su buena operación. Las unidades de bombeo serán 9 y sus bombas están dimensionadas en función de la superficie que deben atender, según se indica en el cuadro que sigue.

Características de las unidades de bombeo
y filtración

	Represa I			Represa II		Represa III			
	Unidades			Unidades		Unidades			
	A	B	C	A	B	A	B	C	D
Gasto (l/seg)	37	49	49	28	27	49,2	41	55	60
Area que atiende (has)	100	130	130	74	73	130	108	144	158
Potencia para elevación (HP)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Potencia para impulsión (HP)	35	45	45	25	25	40	35	45	55

5. INFORMACIONES ECONOMICAS

Fueron proporcionadas las cifras siguientes:

5.1. Inversiones

- Compra de 1.872 has. en junio 1978	US\$	608.400
- Construcciones (casas, pabellones, comedor, poli-clínica, galpones)	"	2.067.900
- Riego		
. construcción de 3 represas para 5.700.000 m ³ cubriendo 264 has. de suelo	"	186.000
. equip. e instalaciones de micro-aspersión	"	1.500.000
- Conexión de energía eléctrica	"	400.000
- Inversión en plantación de citrus incluyendo terrazas a razón de US\$ 5.000 por ha (en 8 años)	"	5.000.000
- Caminos, alambrados, muebles y útiles	"	500.000
Total de la inversión	US\$	10.262.300
Inversión hecha al 31/6/81	"	4.150.000
Falta por invertir	"	6.112.300

5.2. Comercialización

Las expectativas de comercialización de naranjas y limones son favorables. Las exportaciones en toneladas netas subieron de 3.152 en 1970 a 30.534 en 1979 y el precio por caja de 17 kg. (bruce box) subió de US\$ 2,14 en 1970 a US\$ 5,42 en 1979.

Los países compradores son Holanda, R.D.A., Polonia, Inglaterra, Francia, Dinamarca, R.F.A., Noruega, Suecia y Finlandia, y casi todos prefieren la variedad Valencia y los embarques mayores son en el mes de agosto.

Los rendimientos medios del país están en torno a 9 ton/ha pero en la región de Paysandú los huertos comerciales obtienen entre 20 y 30 toneladas por hectárea.

Con una producción de unas 15 ton/ha. el valor bruto de la producción por ha. estará cerca de US\$ 4.800, lo que ya hace rentable la inversión.

15/6/81

JB:mmc