

ident:
8536

7c-ot

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

I I C A

RELATORIO FINAL DE CONSULTORIA EN MANEJO DE SUELOS Y AGUA

Dr. LUIS ALBERTO GUROVICH

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA

CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO - CPATSA

Petrolina, Pernambuco

1 9 7 9

INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

I I C A

CONSULTOR : Dr. LUIS A. GUROVICH

PROYECTO : FORTALECIMIENTO DE LA INVESTIGACION AGRICOLA EN BRASIL

ACTIVIDAD : III. SB. 1131

Cooperación técnica para el fortalecimiento del programa de Sistemas de Producción para la Región del Trópico Semi-Árido.

OBJETIVO : Asesorar al Jefe del Centro y al equipo técnico de CPATSA en el programa de investigación sobre Manejo de Agua y Suelo para perímetros irrigados.

PERIODO : 1º de Agosto al 31 de Octubre de 1979.

LOCAL : Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Semi-Árido (CPATSA - EMBRAPA) Petrolina - PE.

ORGANISMO

BENEFICIADO : C P A T S A - E M B R A P A

TECNICOS

COLABORADORES

DIRECTOS

: Manoel Abilio de Queiroz	Jefe Adjunto Tecnico CPATSA
Carlos Eugenio Martins	Coordinador Proyecto Sistemas de produccion bajo irrigacion.
Eliane Nogueira Choudhury	Pesquisadora Fisica de Suelos
Moacir Alves de Silva	Pesquisador Manejo de Aguas
José Ribamar Pereira	Pesquisa Fertilidad de Suelos
Paulo Cesar F. Gomes	Pesquisador Drenaje de Suelos

PERSONAL

ENTREVISTADO

: Ver Anexo N° 1

ACTIVIDADES

DESARROLLADAS

: a- Se revisó y evaluó el programa de investigación sobre Manejo de Suelos y Agua en perímetros irrigados, sugiriéndose prioridades de investigación, metodologías adaptadas a los objetivos de las pesquisas del programa, y aspectos adicionales para incorporar al programa existente.

(Ver Anexos 2, 3, 4, 5.)

b- En intercambio de ideas y Seminarios técnicos con los colaboradores directos, se dió una orientación detallada en el planeamiento, programación y estandarización de metodologías de pesquisa en Manejo de Suelos y Agua.

(Ver anexo N° 2 al 8).

c- Se preparó material escrito y se realizó varios seminarios especialmente diseñados para presentar los resultados y evaluaciones de pesquisa en Manejo de Suelo y Agua.

(Ver Anexo N° 6, 7, 8, 9).

d- En intercambio de ideas, reuniones técnicas y visitas a las estaciones experimentales y laboratorio, se presentaron metodologías específicas que se emplean normalmente en investigaciones de Manejo de Agua y Suelos.

(Ver Anexos N° 6, 7, 9).

e- Se ofrecieron 9 seminarios y Charlas técnicas sobre investigaciones y aplicación a nivel de agricultores, de tecnología resultante de la pesquisa en Manejo de Suelos y Agua.

(Ver Anexo N° 10).

RESULTADOS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

Las actividades desarrolladas durante el período de la Consultoría, tres meses, entre Agosto y Octubre de 1979, en el Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido de EMBRAPA, han resultado en la preparación del presente Informe; en forma detallada se expone a continuación el análisis y la evaluación de los aspectos más importantes de la actividad realizada.

- 1.- El análisis y evaluación del programa de pesquisa de Sistemas de Producción para áreas irrigadas del Nordeste, que realizan los técnicos de CPATSA, fue un proceso continuo a lo largo de todo el período de la Consultoría, llegándose al estudio detallado de cada uno de los experimentos en ejecución, así como aquellos en etapa de planificación para 1980. Esta labor de análisis y evaluación fue realizada a través de reuniones técnicas con grupos de investigadores y con investigadores individuales, de una manera informal, tanto en el Centro mismo como durante viajes y visitas a las Estaciones Experimentales. La cooperación y el interés por esta actividad, demostrado por los investigadores, permitió obtener una idea de la situación de la pesquisa relacionada con problemas de áreas irrigadas, sus objetivos, metodologías, sistemas de evaluación, su organización y la filosofía que sustenta esta actividad en CPATSA.

Las ideas que desarrollan los investigadores del área irrigada son relevantes y están diseñadas en forma eficiente, sin embargo, detectamos algunos problemas fundamentales, relacionados con la problemática de irrigación que está siendo estudiada por el personal de CPATSA, que afectan de manera significativa la efectividad y la futura aplicabilidad de los resultados de las pesquisas realizadas y planeadas para el futuro próximo.

Estimamos que la actividad de pesquisa en las áreas irrigadas no está completamente relacionada con los problemas reales que afectan tanto a la operación de los proyectos de irrigación de CODEVASF, como a los colonos individuales que usan el agua dentro de esos proyectos. Es así como se ha estructurado un programa de pesquisa un poco desvinculado con problemas aplicados de Manejo de Suelo y Agua, acordes con las normas de operación de proyectos que está adaptando CODEVASF y para las cuales los resultados de la pesquisa de EMBRAPA son fundamentales; así mismo, los resultados obtenidos hasta ahora en el programa desarrollado, no se han traducido en un cambio significativo de las prácticas de irrigación y Manejo de Suelos y Agua, por parte de los colonos, lo cual tiene variadas causas, siendo una de ellas el hecho que la pesquisa realizada no ha tenido como objetivo fundamental el desarrollo de tecnologías específicas, de aplicación sencilla y eficiente por parte de los colonos usuarios del agua.

Esta situación ha resultado entonces, dentro del programa de pesquisa para áreas irrigadas de CPATSA, en una falta de marco general de referencia de los trabajos realizados, lo que ha repercutido en una falta de priorización de los problemas estudiados por la pesquisa, y una falta de objetivos generales a mediano y largo plazo para esta actividad.

La labor de Consultoría analizada aquí, se completó con el establecimiento de prioridades dentro de la pesquisa de áreas irrigadas, y el diseño de los trabajos, que a nuestro juicio, deben iniciarse a brevedad, para obtener la información necesaria y desarrollar la tecnología requerida urgentemente, tanto en los proyectos de irrigación existentes como en aquellos que entrarán en operación en un futuro muy próximo.

Se ha establecido como línea de pesquisa prioritaria el " Desarrollo de Tecnologías de Mantenimiento de la Capacidad Productiva de los Suelos Cultivados bajo Irrigación " ;

ya que se ha detectado un deterioro evidente en suelos regados por un espacio de tiempo relativamente breve (solo algunos años) debido a prácticas de irrigación poco adecuadas y sistemas de drenaje deficientes o inexistentes. Por el hecho de que la incorporación de cada hectarea de secano a un proyecto de irrigación es una inversión muy alta, que implica la asignación de recursos financieros y humanos muy significativa, el deterioro de estos suelos debe ser controlado y evitado, con el fin de no comprometer el esfuerzo realizado. En el Anexo N° 2, se detalla un programa de trabajo completo de pesquisa, en el corto, mediano y largo plazo, relacionado con el tema de deterioro de la capacidad productiva de los suelos.

La segunda prioridad de pesquisa guarda relación con la obtención simultánea de información de dos aspectos fundamentales de irrigación de Sistemas de Producción:

- 1.- datos para la operación de proyectos de irrigación por parte de CODEVASF; como estudios acerca del desarrollo de la profundidad radicular de las culturas, coeficiente de evapotranspiración de las culturas, caracterización hidromecánica de los suelos, evapotranspiración de grama, etc., con el fin de disponer de información adecuada acerca de láminas únicas mas adecuadas para la irrigación, y frecuencias únicas de irrigación a lo largo de la temporada del cultivo, adaptadas a la cultura misma, en relación a su rendimiento, al suelo, y a los peligros de salinidad y desarrollo de niveles freáticos en el perfil del suelo.
- 2.- aspectos económicos de la irrigación, en relación a las láminas y frecuencias de irrigación evaluadas, en función de su costo y de los beneficios en producción de las culturas.

Ambos aspectos están contenidos en un programa de pesquisa a mediano plazo desarrollado para CPATSA en esta Consultoría, y presentado en el Anexo N° 3 de este Informe, con

el nombre de " Funciones de Producción para el Agua, en Sistemas de Producción bajo Irrigación ".

La tercera prioridad en la pesquisa de problemas de Manejo de Agua y Suelos, es a nuestro juicio, el desarrollo de una línea de " Evaluación Agronómica y Económica de Métodos de Irrigación ", adaptados a las culturas actuales y planificadas a más largo plazo (especialmente fruteras) en los diferentes tipos de suelo de los proyectos de irrigación del Nordeste. Las posibilidades reales de desarrollo de esta línea de trabajo, no nos parecen viables en la actualidad, al analizar la disponibilidad de personal calificado y de medios técnicos con que cuenta CPATSA, estimando que esta línea de pesquisa podría ser desarrollada por CPATSA con un apoyo adicional de CODEVASF, o por el contrario, por personal de CODEVASF, con un apoyo en la parte de caracterización hidromecánica de los suelos, por personal de EMBRAPA.

La estructuración del total de la actividad de pesquisa en aspectos de Manejo de Suelos y Agua en el área irrigada por parte de CPATSA, incluyendo las dos primeras prioridades establecidas, es analizada y presentada en el Anexo Nº 4 de este Informe, bajo el título "Adaptación de la Pesquisa en Manejo de Suelos y Agua a los Problemas Actuales y Potenciales de las Áreas Irrigadas ". Allí se establecen diferentes aspectos que son necesarios de estudiar, junto con los problemas prioritarios establecidos anteriormente, para lo cual la labor de coordinación de los técnicos pesquisadores de CPATSA debe tomar una acción definida y estar en manos de un pesquisador experimentado en problemas de Manejo de Agua y Suelos, con el más alto nivel de formación y experiencia, posibles de conseguir por parte de las autoridades de CPATSA y de EMBRAPA en general.

b.- En relación al planeamiento, programación y estandarización de pesquisa en Manejo de Suelos y Agua, la labor de Consultoría se realizó en base a Seminarios y reuniones de trabajo con los pesquisadores del CPATSA, estableciéndose algunas normas reconocidas internacionalmente, y sugiriéndose el uso de las metodologías de análisis de Suelos y Aguas publicadas por el American Society of Agronomy,

como una forma estandard de ejecución de las mediciones pertinentes a los ensayos de campo y laboratorio, en ejecución actual y sugeridas dentro de las líneas prioritarias establecidas en el punto anterior.

Se sugirió asimismo, reforzar el control de las mediciones que se obtienen del laboratorio de suelos de CPATSA, por dos motivos principales: a) existe muy poca participación de los investigadores en el desarrollo del trabajo rutinario del laboratorio, que está bajo la exclusiva responsabilidad de un técnico, por demás eficiente y experimentado, pero que tiene la responsabilidad de un volumen de trabajo bastante significativo, lo que le impide tener una actitud crítica frente a los resultados de las mediciones realizadas; b) las metodologías utilizadas en el laboratorio deben ser actualizadas y estandarizadas nuevamente, por parte de los propios investigadores.

Uno de los sistemas de control propuesto fue la inclusión de muestras de valor conocido dentro del volumen rutinario de muestras analizadas, en forma aleatoria; asimismo se propuso realizar algunos trabajos de calibración de métodos de análisis, con el fin de incorporar las metodologías más eficientes y confiables dentro del trabajo rutinario de análisis, en el cual se basa la mayor parte de la ejecución de los experimentos de campo en Manejo de Suelos y Agua.

Se analizó en forma muy extensa y detallada con algunos investigadores del CPATSA, la adaptación de las metodologías de análisis a los objetivos concretos de cada trabajo de pesquisa, como una forma de aumentar la eficiencia del trabajo y los peligros de dejar de lado mediciones engorrosas no relevante a los objetivos mismos, o dejando sin analizar algunos parámetros fundamentales. Se insistió mucho en la adaptación de métodos de medición sencillos cuya exactud estuviera en directa relación con los objetivos y aplicación futura de la actividad de pesquisa específica en cada caso.

Los Anexos N° 2 al N° 8 contienen aspectos relacionados con la planificación y estandarización de metodologías de pesquisa en Manejo de Suelos y Agua. Especial énfasis se da a este aspecto en los Anexos N° 5 ("Análisis de Sistema aplicado al estudio de Sistemas de Producción"), N° 6 ("Análisis cuantitativo de Pesquisas en Irrigación"), y N° 7 ("Uso de tensiómetros como método de determinación de frecuencias y láminas de irrigación").

c.- Al realizar una revisión detallada de los trabajos de pesquisa relacionados con aspectos de Manejo de Agua y Suelos, publicados recientemente por algunos investigadores de CPATSA, y compararlos con el gran volumen de información existente de cada experimento de campo, se apreció el relativamente poco aprovechamiento analítico y de extrapolación que los investigadores han desarrollado, del significativo esfuerzo desplegado en el trabajo práctico de campo, en los ensayos mismos; por este motivo y cumpliendo con la función de asesorar en metodologías de evaluación de los resultados de los experimentos de Manejo de Suelos y Agua, establecida en la Descripción de Cargo de esta Consultoría, se preparó material escrito y se realizaron varios seminarios, especialmente diseñados para mostrar a los investigadores de CPATSA, algunas alternativas e ideas de como aprovechar al máximo los datos de mediciones realizadas en los experimentos de campo e laboratorio.

En esta forma, se entregó el material presentado en los Anexos N° 6 ("Análisis cuantitativo de pesquisas en Irrigación"), Anexo N° 7 ("Uso de tensiómetros como método de determinación de frecuencias y láminas de irrigación"), Anexo N° 8 ("Conceptos de Eficiencia de Irrigación") y Anexo N° 9 ("Determinación de frecuencias y láminas de irrigación en base a parámetros edafoclimáticos y de cultivo").

La situación planteada en el primer párrafo de este punto, del poco aprovechamiento de los datos obtenidos de experimentos de campo y de laboratorio, resulta del escaso tiempo que la mayoría de los investigadores de CPATSA, relacio-

nados con Manejo de Suelos y Agua, tiene como experiencia en esta actividad de pesquisa, así como al hecho de no contar con el apoyo de un coordinador experimentado y que pudiera servir de guía y apoyo en este tipo de trabajo de pesquisa, lo que está indicando que el Centro requiere con mucha urgencia la contratación de un especialista de nivel y experiencia adecuados para el desarrollo de toda la línea de Trabajo en Manejo de Suelos y Agua en los perímetros irrigados.

- d.- • Dentro del periodo de la Consultoría, y a través de la labor desarrollada, se evidenció la necesidad de readaptar y modernizar algunas de las metodologías específicas que son empleadas actualmente en el trabajo experimental de campo y de laboratorio, por parte de los técnicos de CPATSA encargados de los aspectos de Manejo de Suelos y Agua bajo condiciones de Irrigación.

Se presentaron y discutieron alternativas para la medición del contenido de agua de los suelos, el potencial del agua en suelos y plantas, el área foliar y el índice de área foliar, el desarrollo de los sistemas radiculares y las estimaciones de parámetros y constantes de evapotranspiración, a través de una evaluación integrada de las condiciones edafoclimáticas y de los cultivos. Esta labor se realizó en forma de seminarios, reuniones de trabajo y principalmente, a través de conversaciones y discusiones informales con los diferentes investigadores.

Los Anexos Nº 6, 7 y 9 se refieren especialmente a estos aspectos metodológicos y de técnicas específicas de trabajo de pesquisa en Manejo de Suelos y Agua.

La labor de Consultoría en Manejo de Suelos y Agua realizada para CPATSA - EMBRAPA, a través del Convenio IICA - EMBRAPA, puede resumirse como un trabajo de esclarecimiento, comprensión de los problemas específicos de los perímetros irrigados del Nordeste, en lo que se refiere a Manejo de Agua y Suelos, y una priorización de las actividades futuras de pesquisa en estos aspectos.

Asimismo se cooperó con los investigadores del Centro, en los aspectos técnicos de metodologías, contibuyéndose con un limitado, pero efectivo, reciclaje de conocimientos e intercambio y análisis de experiencias.

En conjunto con el personal de CPATSA, se definieron los aspectos que estan limitando el desarrollo de la pesquisa en Manejo de Suelos y Agua, y la necesidad de adaptar estas actividades a problemas reales, prácticos y de soluciones concretas, con una aplicabilidad de los resultados obtenidos con la pesquisa por parte de los usuarios del agua de irrigación. Para ello es necesario redefinir los objetivos generales de esta línea de pesquisa y elaborar un marco definido dentro de las actividades del Centro y en relación a las prioridades generales para la Agricultura del Nordeste.

CONCLUSIONES DE LA CONSULTORIA

- 1.- Se detectó la necesidad de definir el papel de la pesquisa en Manejo de Suelos y Agua, en los perímetros irrigados, en relación a los problemas generales de pesquisa agropecuaria del Trópico Semi-Árido.
- 2.- Se estableció la necesidad de contar con un pesquisador de nivel y experiencia adecuados para coordinar el trabajo de equipo de los pesquisadores en los problemas prioritarios de la línea de Manejo de Suelos y Agua en los perímetros irrigados.
- 3.- Se señaló la necesidad de desarrollar la línea de pesquisa en Manejo de Suelos y Agua para Sistemas de Producción bajo irrigación, con objetivos acordes con los problemas reales de operación de los proyectos de irrigación y con los problemas reales de aplicación del agua por parte de los usuarios (colonos y productores agrícolas).
- 4.- Se determinó la necesidad de establecer un compromiso de los pesquisadores relacionados con el área de Manejo de Suelos y Agua bajo condiciones de irrigación, con la solución de los problemas reales, de acuerdo a su prioridad, definiendo la relación entre la pesquisa, la extensión de los resultados de la pesquisa y la aplicabilidad de esos resultados por parte de los usuarios y encargados de operar los proyectos de irrigación.

RECOMENDACIONES TECNICAS Y SUGESTIONES PARA ALCANZAR LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS PARA LA MISION :

a.-

El objetivo de la Consultoría, de asesorar en el programa de investigación en Manejo de Suelo y Agua para perímetros irrigados, ha sido completado en el período de tres meses, de acuerdo a los deberes y funciones establecidos en la Descripción de Cargo; sin embargo, con el fin de alcanzar realizaciones concretas dentro de las actividades y programas de investigación de CPATSA, a través de los diferentes proyectos sugeridos detalladamente en este relatorio, es nuestra opinión que se requiere una labor de Consultoria por un periodo más prolongado, que no necesariamente debe ser continuo, ya que el nivel técnico y la preparación de los investigadores de CPATSA es adecuado para la realización de los ensayos de campo propuestos en los diferentes anexos de este Informe.

Una labor de Consultoría permanente, realizada esporádicamente por período cortos (1 mes cada tres meses), tendría la ventaja de permitir un trabajo eficiente y creativo de los propios investigadores de CPATSA, lo que es de significativa importancia, tanto desde el punto de vista técnico como de relaciones profesionales, así como la ventaja de contar el Centro un Consultor, cuya labor debería ser muy definida, específica y responsable, en relación con objetivos, metodología y evaluación de experimentos muy concretos, que son prioritarios en relación con los problemas de los perímetros irrigados y que han sido detallados en los Anexos N° 2, 3, 4 y 5 de este Informe.

Los proyectos de "Mantenimiento y recuperación de la capacidad productiva de los suelos cultivados de bajo irrigación " y de " Funciones de Producción para el agua, en sistemas de producción bajo irrigación " (Anexos N° 2 y 3, respectivamente), se encuadran muy adecuadamente en la planificación general de la pesquisa del CPATSA, por lo que no representan una línea

de trabajo diferente y totalmente nueva; sin embargo, es necesario dedicar esfuerzos y recursos humanos, técnicos e financieros muy definidos y comprometidos con los objetivos de esos proyectos, que son realmente prioritarios y cuyos resultados se requieren ya en este momento en forma urgente, tanto para definir la operación de nuevos proyectos de irrigación de CODEVASF, como para evitar el deterioro de los suelos irrigados con prácticas poco adecuadas.

La labor del Consultor de largo plazo, actuando en forma esporádica pero continua, deberá ser de:

- i - orientación para los investigadores, en la adaptación de las metodologías de trabajo a los objetivos de los proyectos.
- ii - coordinación de las actividades de pesquisa necesarias para alcanzar los objetivos de los proyectos, tanto en el tiempo, como en la extensión y profundidad de las diferentes actividades.
- iii - análisis y síntesis de los resultados obtenidos en los experimentos de campo y de laboratorio, detallados en los proyectos sugeridos.
- iv - extrapolación de los resultados de la pesquisa (extensión fuera del ámbito de CPATSA y aplicación en la operación de proyectos de irrigación de CODEVASF y DNOCS); en este aspecto el Centro tiene dificultades evidentes, que impiden muchas veces trascender a la pesquisa realizada, a nivel de productores, planificadores de proyectos, o coordinadores regionales. En este aspecto, la labor de un Consultor externo puede ser muy valiosa, por la visión de conjunto de problemas y soluciones alcanzadas con la pesquisa, que el Consultor puede llegar a tener.

b.-

A nuestro juicio, en el programa de Consultorias para CPATSA, seria interesante definir más claramente la relación entre el Consultor y los coordinadores de los programas de pesquisa, y tal vez, preparar un documento para ser distribuido y explicado entre los pesquisadores, conteniendo los objetivos detallados del trabajo de Consultoría, con el fin de preparar previamente un ambiente de abertura e interés y ventaja mutua, sin suspicacias ni desentendimiento entre el personal del Centro y el Consultor, ya que el tiempo que el Consultor debe emplear para formarse un ambiente adecuado entre el personal, es por demás extenso y significativamente poco estimulante.

En dicho documento dejarse establecida la labor de cooperación del Consultor con el Centro, su responsabilidad de sugerir ideas relacionadas con pesquisa en el área de su especialidad, la oportunidad para los pesquisadores de tener un entrenamiento adicional y reciclaje de conocimientos e información científica y técnica que puede entregarles el Consultor, y la circunstancia especial de poder hacer un alto en la actividad de pesquisa para evaluarla junto con un técnico con experiencia y conocimiento, que tendrá una visión del conjunto de problemas y técnicas de trabajo más objetiva y menos comprometida que cada uno de los pesquisadores en particular.

Asimismo, en dicho documento debería sugerirse la designación de una persona, idealmente uno de los coordinadores de programa de pesquisa del Centro, para que asesore y colabore directamente con el Consultor, en sus contactos con cada uno de los pesquisadores, facilitando así la comunicación y mejorando la eficiencia de la actividad del Consultor.

Personalmente tendría mucho interés en participar en la redacción de dicho documento, en conjunto con las personas y organismos responsables del Contrato IICA - EMBRAPA.

Las recomendaciones y sugerencias de la presente Consultoria pueden resumirse en dos aspectos principales:

- 1.- La iniciación al mas breve plazo posible de pesquisas en los temas " Mantención y recuperación de la capacidad productiva de los suelos cultivados bajo irrigación " y " Funciones de producción para el agua, en sistemas de producción bajo irrigación ", cuyos objetivos, justificación, metodologías e técnicas de análisis de resultados esperados se detallan en los Anexos N° 2 y 3 de este Informe, para lo cual estimamos indispensable una labor de Consultoría prolongada y posiblemente esporádica en el tiempo.
- 2.- La elaboración de un documento de trabajo que situé la labor de los Consultores dentro de las actividades del Centro, con el objeto de hacer mas eficiente e impactante la colaboración de estos con los investigadores y la Dirección.

CIRCUNSTANCIAS O ACONTECIMIENTOS EXTERNOS A IICA QUE AFECTARON LA EJECUCION DE LAS ACTIVIDADES:

Durante la primera mitad del período de Consultoría, los investigadores del Centro estuvieron dedicados en forma muy intensa a labores de planificación y coordinación de investigaciones, por lo que hubo algunas dificultades preliminares para entrar en contacto tanto con los coordinadores como con los investigadores mismos.

Este período inicial sirvió principalmente para estudiar los programas de investigación de CPATSA, la realidad de la operación de los proyectos de irrigación de la región y para preparar el material escrito y los Seminarios técnicos. La labor del Consultor pudo haber sido aprovechada también en las actividades de planificación, pero no fue establecida la relación directa entre ambos, por parte de los coordinadores correspondientes. Sin embargo, a través de contactos personales con la mayoría de los investigadores, y con la presentación de los primeros seminarios técnicos, fue posible incorporar en parte de las investigaciones planeadas para 1980, objetivos, metodologías e sistemas de evaluación adecuados a los problemas visualizados por el Consultor.

Durante la segunda mitad del período de Consultoría, los investigadores del Centro dispusieron de más tiempo para intercambiar ideas con el Consultor, acerca de sus actividades de investigación en forma general y también a nivel de experimentos específicos, técnicas de análisis, etc., mostrándose la mayoría de ellos francamente receptivos a las sugerencias e ideas del Consultor, contenidas en los Anexos correspondientes.

ANEXOS DEL RELATORIO FINAL

Nº TITULO

- 1 Personal entrevistado
- 2 Proyecto de pesquisa "Mantención y recuperación de la capacidad productiva de los suelos cultivados bajo irrigación".
- 3 Proyecto de pesquisa " Funciones de producción para el agua, en sistemas de producción bajo irrigación".
- 4 Adaptación de la pesquisa en Manejo de Suelos y agua a los problemas actuales y potenciales de las areas irrigadas en el Nordeste de Brasil.
- 5 Análisis de Sistema aplicado al estudio de Sistemas de Producción para el area irrigada
- 6 Análisis cuantitativo de pesquisas en irrigación
- 7 Uso de tensiómetros como método de determinación de frecuencias y láminas de irrigación.
- 8 Conceptos de eficiencia de irrigación
- 9 Determinación de frecuencias y láminas de irrigación en base a parámetros edafoclimáticos y de cultivo
- 10 Relación de Seminarios ofrecidos durante la Consultoría.

ANEXO N° I

PERSONAL ENTREVISTADO, RELACION DE NOMBRES Y CARGOS

Agustin A. Millar	Consultor en Tecnología de Irrigación IICA - CODEVASF - Brasilia.
Aderaldo de Souza Silva	Pesquisador en Manejo de Suelos y Agua CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Arnobio Anselmo Magalhães	Pesquisador en Manejo de Suelos y Agua CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Carlos Eugênio Martins	Coordenador de Pesquisa de Sistema de Pro- ducción bajo irrigación. CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Clementino Marco B. de Faria	Pesquisador en Química y Fertilidad de Suelos CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Eliane Nogueira Choudhury	Pesquisadora en Física de Suelos CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Enrique Matute	Especialista en Conservación de Suelos IICA - SUDENE - Recife.
Fernando Luis Garagorry	Coordenador de Pesquisa Operacional DMQ - EMBRAPA - Brasilia.
Geraldo Magela Calegar	Jefe Adjunto Apoyo CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Gilberto Gomes Cordeiro	Pesquisador en Irrigación y Salinidad CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Hamilton Medeiros de Azevedo	Profesor - Universidad Federal de Paraiba Campina Grande
José Ribamar Pereira	Pesquisador en Fertilidad de Suelos CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.

Luis Menard Neptune	Profesor de Fertilidad de Suelos Universidade Federal de São Paulo. Piracicaba
Luis Corsino Freire	Pesquisador en Economía Agraria CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Lucia Marysi de Oliveira	Coordinadora docente Faculdade de Agronomia de Juazeiro.
João Gilberto Corrêa da Silva	Chefe do DMQ - EMBRAPA Brasília.
Juraci Gonçalves da Silva	Gerente Operacional CAMPB Bebedouro
Manoel Abilio de Queiroz	Chefe Adjunto Técnico CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Moacir Alves da Silva	Pesquisador en Irrigación CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Natercio Melo	Gerente Operacional CAMPIM Mandacaré
Oscar Iván Palma Pacheco	Pesquisa Operacional - DMQ - EMBRAPA Brasília.
Paulo Cesar Farias Gomes	Pesquisador en Irrigación y Drenaje CPATSA - EMBRAPA - Petrolina.
Pierre Michel Saint-Clair	Consultor en Ecofisiología IICA - EMBRAPA/CPATSA - Petrolina.
Pompilio Lustosa de Possidio	Pesquisador en Fitotecnia CPATSA - EMBRAPA - Petrolina
Renival Alves de Souza	Chefe do CPATSA - EMBRAPA Petrolina
Waldo Espinoza	Pesquisador en Relaciones Suelo-Agua-Planta CPAC - EMBRAPA - Brasília.
Walter Silva Barua	Especialista en Pesquisa de relaciones suelo- agua-planta. Usina Mandacaré - Agrovale.

ANEXO Nº 2

DISEÑO DE UN SISTEMA PERMANENTE DE EVALUACIÓN, Y PROPOSICIÓN DE
PESQUISAS PARA DESARROLLAR TECNOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO DE LA
CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LOS SUELOS CULTIVADOS EN LOS PROYECTOS
DE IRRIGACIÓN Y EN EL SECAÑO DEL VALLE DEL RÍO SAN FRANCISCO.

Dr. Luis A. Gurovich
Consultor en Manejo de Suelo y Agua
IICA-EMBRAPA/CPATSA.

1979

diseño de un sistema permanente de evaluación, y proposición de pesquisas para desarrollar tecnologías de mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos cultivados, en los proyectos de irrigación y en el secano del Valle del Rio San Francisco.

Dr. Luis A. Gurovich
Consultor en Manejo de Suelos y Agua
IICA-EMBRAPA/CPATSA.

1979

INTRODUCCION:

Los efectos destructivos del cultivo continuo e intensivo, bajo condiciones de irrigación, sobre la productividad de muchos suelos, ha sido tan drástico, que, muchas veces han surgido dudas acerca de la posibilidad real de desarrollar una agricultura exitosa durante un tiempo prolongado en condiciones áridas y semi-áridas. En la mayor parte de las ocasiones, estos efectos han derivado de condiciones de saturación, casi siempre asociados con una concentración excesiva de sales, dentro del perfil del suelo, en la zona de desarrollo radicular de los cultivos. (Kovda, 1973).

Si estas condiciones de saturación y salinización del suelo se mantienen sin ningún tipo de manejo preventivo o correctivo, se llega inevitablemente a una situación en que el suelo no puede producir ningún tipo de vegetación útil. A lo largo de la Historia de las Civilizaciones, muchos pueblos han desaparecido como resultado de la falta de alimentos, que en un momento fueron producidos en sus valles irrigados, los cuales, por efecto del cultivo intensivo sin operaciones de manejo adecuadas, se salinizaron hasta hacerse inproductivos. (Fukuda, 1976; Gurovich, 1979).

En muchos lugares del mundo, hoy en día el deterioro de la capacidad productiva de los suelos de zonas áridas y semi-áridas cultivados bajo irrigación, aún se mantiene con una extensión y velocidad significativas. El costo de habilitación de tierras vírgenes de zonas áridas, para su incorporación al riego, es muy elevado, por la necesidad de obras hidráulicas de almacenamiento, derivación y conducción de aguas, la necesidad de construcción y organización de

infraestructura de producción y la capacitación y financiamiento del personal técnico y los productores. La inversión realizada puede resultar alta rentabilidad, solamente si la vida útil del proyecto de irrigación puede mantenerse por muchos años, o sea, puede sustentarse una agricultura permanente. La rentabilidad de un proyecto de irrigación no será adecuada y puede significar en realidad un despilfarro de recursos, si se produce un deterioro de la capacidad productiva del suelo y el proyecto debe ser abandonado total o parcialmente, porque su productividad ha disminuido significativamente, aparte del problema social que se genera con la producción relacionada con las actividades agrícolas del proyecto. (Luthin, 1975).

Sin embargo, en base al conocimiento acumulado en los últimos 50 años, la agricultura de riego en zonas áridas puede ser permanente, siempre que exista una selección adecuada del tipo de suelo, de la calidad del agua usada para irrigar, de los cultivos (especies y variedades) y del manejo del suelo y el agua. Un factor clave de manejo es el drenaje, que debe desarrollarse siempre asociado a la irrigación.

Entre los principales problemas de deterioro de la capacidad productiva del suelo, como efecto de un cultivo intensivo, pueden mencionarse los siguientes:

1. alteración del microrelieve
2. compactación del perfil
3. destrucción de la estabilidad de los agregados superficiales
4. depositación de elementos en suspensión en el agua de riego, sobre la superficie del suelo (arena generalmente).
5. erosión de lámina
6. cambios en la distribución de partículas según tamaño (microestratificación de la textura)
7. alteraciones de la estructura (disminución del volumen de macroporos y de la estabilidad de agregados)
8. disminución de las velocidades de infiltración
9. disminución de la conductividad hidráulica
10. formación de horizontes impermeables
11. formación de niveles freáticos fijos o fluctuantes
12. cambios en las propiedades térmicas del suelo

13. concentración de sales en el perfil del suelo
14. incremento de las concentraciones de sodio en el complejo de intercambio
15. efectos sobre el pH y el potencial de óxido-reducción
16. variaciones en la microflora y microfauna del suelo
17. inhibición de la descomposición y mineralización de la materia orgánica
18. incremento de la incidencia de organismos fitopatógenos
19. alteración de los ciclos del nitrógeno y otros elementos nutritivos
20. reducción de la profundidad efectiva de enraizamiento de los cultivos

Las operaciones preventivas y correctivas, para evitar el deterioro de la capacidad productiva de los suelos de zonas áridas, bajo cultivo e irrigación intensivas tienen una serie de efectos sobre la dinámica del agua y de los sales. Estas operaciones de manejo pueden resumirse en los siguientes aspectos:

1. Lavado de Sales
2. Drenaje
3. Rehabilitación de suelos sodificados (reemplazo del Na del complejo de intercambio por cationes divalentes)
4. desmineralización de las napas freáticas por dilución.

Una excelente monografía acerca del deterioro de la capacidad productiva de los suelos de zonas áridas y semi-áridas, cultivados bajo irrigación por efecto de manejo deficiente, ha sido publicado por FAO/UNESCO, (1973).

Goes (1976) en un informe para SUDENE, presenta algunos valores relevantes al problema de salinización en proyectos de irrigación del Nordeste de Brasil, concluyendo que entre un 20 a 25% de las superficies incorporadas al cultivo en menos de 8 años, ya estaban afectadas por salinización hasta un grado tal, que no podrían seguir siendo cultivadas y fueron abandonadas. La gravedad del problema, en proyectos de irrigación en el Río Piranhas, es similar, así Cordeiro y Millar (1978) en un levantamiento realizado en el Proyecto São Gonçalo, encontraron que un 24% de los suelos del área en operación se han sodificado y un 4% presenta además del sodio, un nivel alto de salinidad, generándose este problema en un lapso de 10 años de cultivo aproximadamente.

4

Los proyectos actuales en el v Valle del Rio São Francisco, Bebedouro y Mandacaru, presentan también superficies significativas afectadas con diversos grados de intensidad por problema de drenaje y salinidad (Cooperativas Bebedouro Mandacaru, información personal), incluso debiendo dejarse sin cultivo algunos btes. Sin embargo, no se ha hecho un levantamiento detallado del problema de salinidad y drenaje en estos proyectos, al nivel realizado en el proyecto São Gonçalo.

En la proposición de pesquisa presentada aquí, se incluye una metodología de evaluación del deterioro en la capacidad productiva de los suelos, la determinación de las causas del deterioro y la determinación de tecnologías para mantener la capacidad productiva de los suelos, tanto a través de normas de operación rutinarias por los colonos, como normas de rehabilitación de suelos afectados por problemas de salinidad.

Este proyecto de pesquisa tiene como objetivo desarrollar las tecnologías de prevención y corrección de problemas de deterioro de la capacidad productiva de los suelos, tanto para proyectos de irrigación, como para suelos de secano incorporados al cultivo, con aplicaciones eventuales de agua de lluvia almacenada o irrigados con métodos no convencionales. Estas tecnologías serán posteriormente puestas a disposición de los organismos de extensión agrícola, para su difusión entre productores y responsables de proyectos de irrigación y manejo de suelos y agua en el secano.

BIBLIOGRAFIA

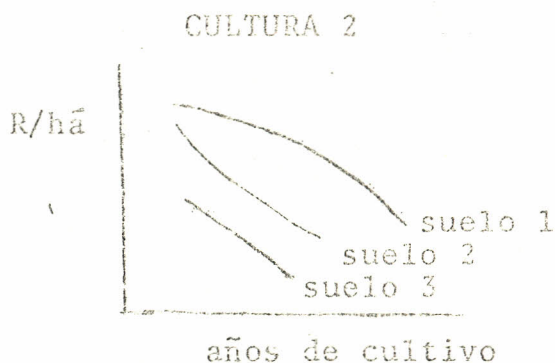
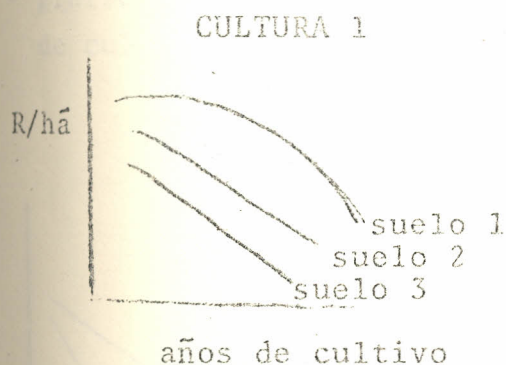
- Kovda, V.A. 1973. Some affects on Irrigation and Drainage on Soils. FAO/UNESCO International Source Book on Irrigation, Drainage and Salinity. Cap. 12 - 387-429
- Fukuda, H. 1976. Irrigation in the World. Comparative Developments. University of Tokio Press.
- Gurovich, L. 1979. Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego Cap. 1; El Riego, los rendimientos y la conservación de los suelos. IICA
- Goes, I. S. 1976. Prediagnostico sobre o problema de salinidade e drenagem em Perímetros de irrigação do Nordeste. SUDENE.
- Cordeiro, G.G. y Millar, A.A. 1978. Problemas de sales en las areas en operación agrícola del Proyecto de Riego de São Gonçalo. Rublicación EMBRAPA/CPATSA
- Luthin, I.N. ed. 1957. Drainage of Agricultural Lands. American Society of Agronomy.

SISTEMA DE EVALUACION DEL DETERIORO DE LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LOS SUELOS.

1. ESTIMACION DEL DETERIORO REAL

Determinar la disminución probable de rendimientos a medida que aumentan los años bajo cultivo.

- Fuentes de información
 - Cooperativa Bebedouro
 - Cooperativa Mandacaru
- Análisis de la información
 - Por cultura, por tipo de suelo y por años
- Presentación de la información
 - gráficos de productividad (rendimiento por hectarea en función del tiempo, para cada cultura, separadas por tipo de suelo.



- Requerimiento de personal
 - 1 técnico agrícola o auxiliar de estadística, durante 1 año
- Presupuesto
 - Personal - 1 técnico, 1 mes
 - Material de Secretaria - Cr\$ 2.500,00
 - Análisis de la información (pesquisadores) - 5 pesquisadores, 1 semana.

2. DETERMINACION DE LAS CAUSAS DEL DETERIORO

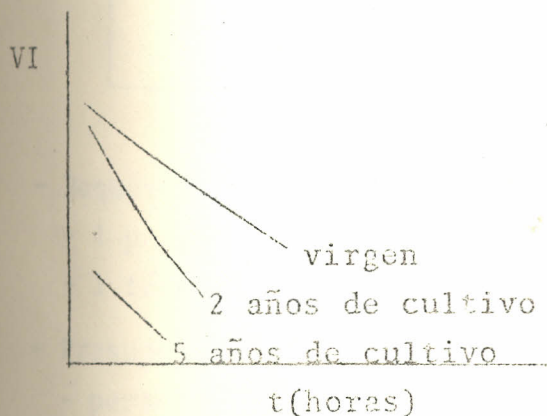
Medición de parámetros integrales de manejo de suelos

- a) disminución de la velocidad de infiltración del agua en el suelo, a través del tiempo de cultivo.

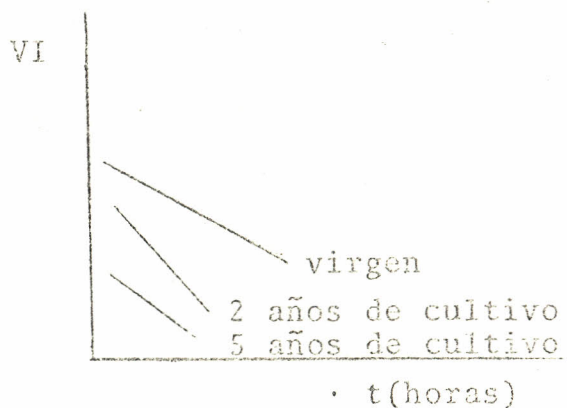
Fuentes de información

- relatorios de pesquisas desde el comienzo de los proyectos de irrigación
- Determinación de velocidad de infiltración por cilindros en suelo virgen y en suelos con diferentes números de años bajo cultivo (lote del agricultor belga puede ser el mejor ejemplo)
- Metodología
 - Methods of Soil Analysis. Cap. 12
- Análisis de la información
 - Por tipo de suelo y por año. Los indicadores más relevantes :
Velocidad de infiltración inicial, velocidad de infiltración básica, tiempo necesario para reponer una lámina de agua desde el suelo con 50% de humedad aprovechable hasta capacidad de campo.
- Presentación de la información
 - gráficos de velocidad de infiltración en función de los años de cultivo por cada tipo de suelo.

SUELO 1



SUELO 2

[illegible]

b) aumento de la resistencia a la penetración como índice de compactación y deterioro estructural por efecto del cultivo.

- Fuentes de información

- determinaciones de resistencia a la penetración (uso de penetrómetros) en los mismos lugares donde se efectúa las pruebas de infiltración.

- Metodología

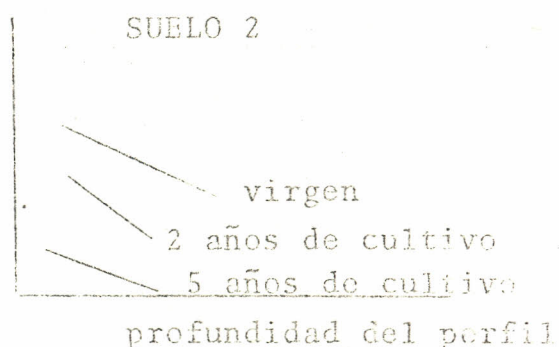
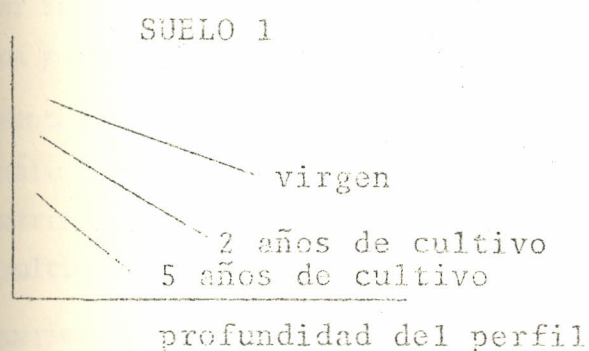
- Methods of Soil Analysis Cap. 37

- Análisis de la información

- Por tipo de suelo y por año, para diferentes profundidades del perfil

- Presentación de la información

- gráficos de resistencia a la penetración en función de los años de cultivo por cada tipo de suelo



- Requerimientos de personal

- 1 pesquisador en Física de Suelos
- 1 técnico agrícola

- Presupuesto

- personal - 1 pesquisador en Física de Suelos - 1 mes
- 1 técnico agrícola - 2 meses
- Materiales y imovilización - Cr\$ 10.000,00

Medición de parámetros específicos de los suelos

- realizar un levantamiento, por tipo de suelos e por años de cultivo, de los siguientes aspectos:

- a) densidad aparente por estratas del suelo
- b) curvas de retención de agua (0.3 - 15 bares) por estratas del suelo
- c) textura por estratas

- d) salinidad
- e) cationes solubles
- f) cationes de intercambio
- g) nivel freático
- h) materia orgánica
- i) estabilidad de agregados superficiales

a lo largo de todos años
determinaciones mensuales

- Fuentes de información

- relatorios de pesquisas existentes
- determinaciones en terreno, con un levantamiento detallado, del nivel similar al realizado en el proyecto São Gonçalo.

- Metodología

- Methods of Soil Analysis Cap. 30 a), 8 b), 43 c), 11 g), 62 d), 71, 72, 68 f), 92 h), 40 i).

- Análisis de la información

- Por tipo de suelos, de acuerdo a los años bajo cultivo separando suelos con y sin efecto de nivel freático.

- Presentación de la información

- gráficos de cada uno de los parámetros en función del tiempo
- matriz de correlaciones entre los parámetros (multiple step-wise regression).

- Requerimientos de personal

- 1 pesquisador en Física de Suelos
- 1 pesquisador en Fertilidad de Suelos
- 1 pesquisador en Drenaje e Salinidad
- 2 técnicos agrícolas
- 1 técnico de laboratório

- Presupuesto

- personal - 3 pesquisadores - 2 meses cada uno
- 3 técnicos - 4 meses cada uno
- materiales e movilización - Cr\$ 40.000,00

3. DETERMINACION DE TECNOLOGIAS PARA MANTENER LA CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LOS SUELOS:

Normas de operación rutinarias por parte del productor

a) Lavado periódico de sales del perfil de suelo

Experimento propuesto:

En dos suelos diferentes, dentro de un sistema de producción, efectuar los siguientes tratamientos:

Frecuencia de lavados - Mensual con la irrigación - anual (irrigación - lavado)
- trimestral (entre cultivos)

Modo de lavado - A través del sistema de irrigación por surco tradicional
- con rotura del surco en cada irrigación
- con rotura del surco cada 3 irrigaciones.

Profundidad de lavado - 2 ET Cultivo
- 3 ET Cultivo
- 4 ET Cultivo

- Diseños experimentales
- split-plot block con 4 repeticiones

- Mediciones a realizar (cada quince días, durante 1 año)

- perfiles de salinidad
- perfiles de cationes de intercambio
- producción de las culturas
- tasas de drenaje y niveles freáticos
- perfiles de humedad a lo largo de los surcos (distribución de la lámina de mojado).

b) Humedad óptima para el trabajo mecanizado de preparación de suelos

Experimento propuesto

En dos suelos diferentes, determinar los límites de Atterberg y efectuar los siguientes tratamientos:

- Humedad de suelo
- Recién regado
- Límite líquido
- Límite Plástico
- Equivalente a - 10 bares
- Seco al aire hasta 30 cm
- Operación de preparación
- Arado rastrage
- Arado rastrage - rastrage
- Rastrage - rastrage
- Diseño experimental
- factorial con 3 repeticiones
- Mediciones a realizar
- velocidad de infiltración
- resistencia de la penetración
- densidad aparente por estratas
- estabilidad de agregados oficiales

c) Profundidad de limpieza de drenes

En dos suelos diferentes con problemas de nivel freático, realizar los siguientes tratamientos:

- Profundidad de drenes

- 75 cm
- 150 cm
- 250 cm

Láminas de agua para lavado de sales

- 150 % ET
- 200 % ET
- 300 % ET

- Diseño experimental

- Factorial con 3 repeticiones

- Mediciones a realizar (cada semana durante 2 meses después del tratamiento de lavado y 1 vez por mes durante 1 año, posteriormente)

- altura de nivel freático
- distribución de sales
- variación de profundidad del dren por efecto de su operación
- descarga de los drenes.

d) Uso de materiales para estabilizar la estructura superficial del suelo

En el suelo arenoso de Bebedouro, efectuar los siguientes tratamientos en un sistema de producción:

- Estiercol - diferentes niveles y formas de aplicación

- Resticultura - Incorporación de residuos de cultivos de época lluviosa

- Maiz - poroto
- otra leguminosa

- Incorporación de NPK minerales en cultivos nobres

- combinación de NPK mineral + Resticultura

- Diseño experimental

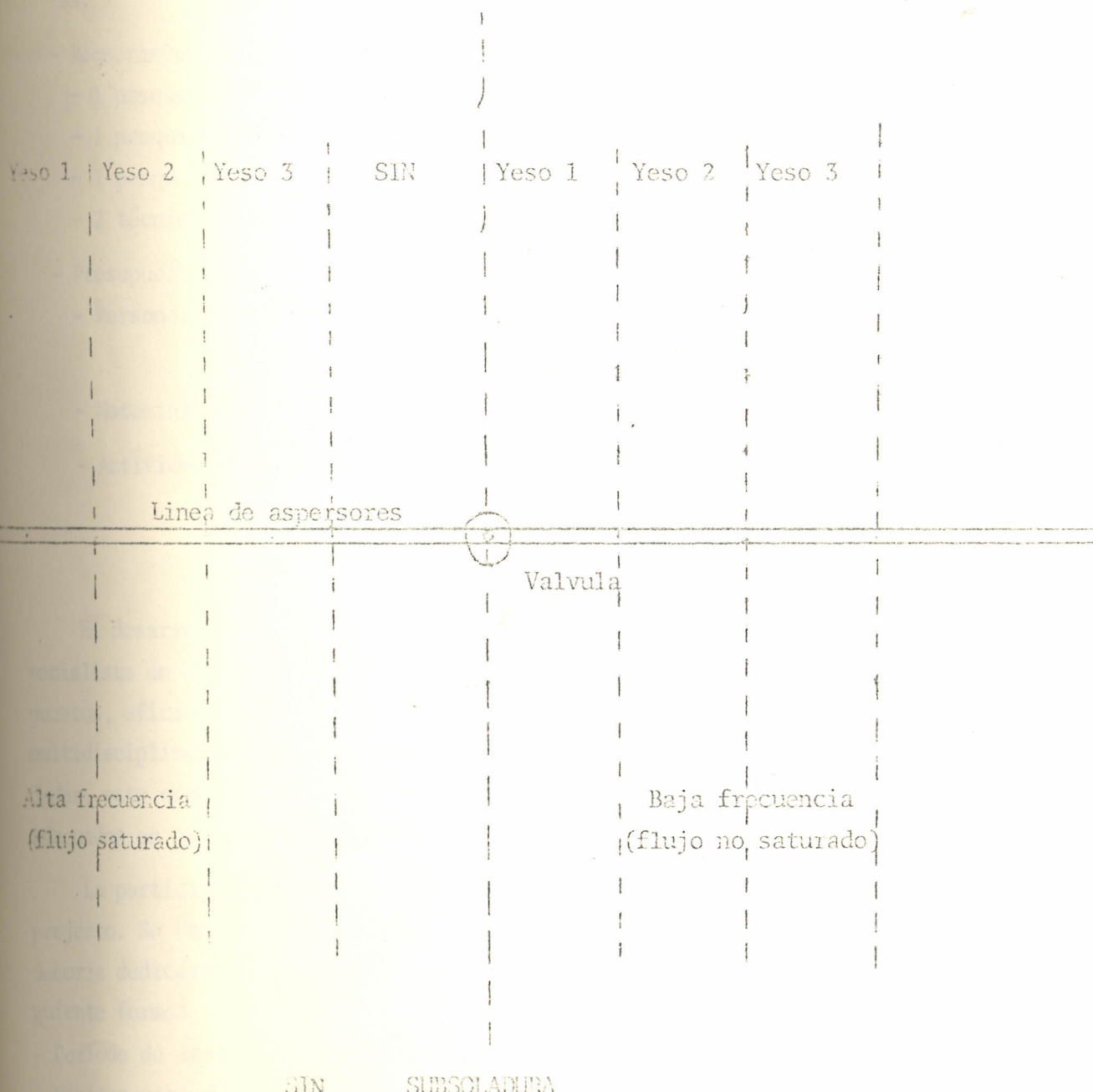
- Bloques completos al azar con 4 repeticiones

- Mediciones a realizar (4 veces en el año)

- velocidad de infiltración
- capacidad de almacenamiento de agua de la estrata superficial
- estabilidad de agregados superficiales
- Producción de las culturas
- resistencia a la penetración

ESQUEMA

SUBSOLADURA



44

- Mediciones a realizar (semanalmente, hasta el fin del lavado)

- perfiles de salinidad
- perfiles de cationes de intercambio
- niveles freáticos y tasas de drenaje (K_d)

Velocidad de infiltración por cilindros

La experiencia es de corta duración (90-100 días). Se propone realizar sobre las mismas parcelas, después de ese período, algún sistema de cultivo en que se medirá producción y curva de absorción de N-P y K y algunos micronutrientes.

- Requerimiento de personal

- 1 pesquisador en Drenaje e Salinidad
- 1 pesquisador en Irrigación
- 1 pesquisador en Fertilidad de Suelo
- 2 técnicos agrícolas

- Presupuesto

- Personal - 3 pesquisadores - 5 meses cada uno
 - 2 técnicos agrícolas - 6 meses cada uno
- Materiales y movilización - Cr\$ 50.000,00
- Actividades de extensión y publicación - Cr\$ 25.000,00

RESUMEN DE PERSONAL Y PRESUPUESTO

El desarrollo de este proyecto de pesquisa requiere la coordinación de un especialista en Manejo de Suelos y Agua, con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, eficientemente y en los plazos previstos. Como se trata de un estudio multidisciplinario, en el que intervienen pesquisadores con diferentes especialidades, este coordinador debe ser de un nivel de formación y con una experiencia adecuados en este tipo de trabajos.

La participación del coordinador no requiere dedicación exclusiva a este proyecto. Se estima la duración total del proyecto en dos años y el coordinador debería dedicar 6 meses completos, en forma interminente al proyecto, en la siguiente forma:

- Período de instalación - 3 semanas
- Visitas periódicas - dos semanas cada tres meses
 - 8 visitas de dos semanas = 16 semanas
- Período de evaluación final - 5 semanas

- Equipo de especialistas

- 1 Físico de Suelos - 8 meses de dedicación dentro del período de dos años
- 1 especialista en Drenaje y Salinidad - 11 meses de dedicación en el período de dos años
- 1 especialista en Fertilidad del Suelo - 7 meses de dedicación en el período de dos años
- 1 especialista en Irrigación - 5 meses de dedicación en el período de dos años
- 3 técnicos agrícolas - 24 meses cada uno
- 1 técnico de laboratorio - 8 meses en el período de dos años

- Presupuesto de gastos directos

- Materiales y equipos	Cr\$ 162.500,00
- Divulgación y extensión	Cr\$ <u>75.000,00</u>
- Total	Cr\$ 237.500,00

ANEXO Nº 3

PROPOSICION PARA UN PROYECTO DE PESQUISA EN FUNCIONES DE
PRODUCCION DEL AGUA Y EL NITROGENO PARA SISTEMAS DE PRO
DUCCION BAJO CONDICIONES DE IRRIGACION

Dr. LUIS GUROVICH

Consultor en Manejo de Suelos y Agua

IIICA - EMBRAPA/CPATSA

1979

PROPUESTAS PARA UN PROYECTO DE PESQUISA EN FUNCIONES DE PRODUCCION
DEL AGUA Y EL NITROGENO PARA SISTEMAS DE PRODUCCION BAJO CONDICIO-
NES DE IRRIGACION.

Dr. Luis Gurovich

Consultor en Manejo de Suelos y Agua

IICA - EMBRAPA/CPATSA

1979

INTRODUCCION

El conocimiento de las funciones de producción del agua es un conjunto de informaciones importantes, que son necesarias tanto en decisiones privadas o sociales, en programas de políticas de optimización del uso del agua. Desgraciadamente, sin embargo, las funciones de respuesta al agua casi nunca se conocen en forma previa al inicio de grandes proyectos de irrigación, ya sean estos almacenamientos de agua superficiales, o el desarrollo de agua subterránea por medio de redes de pozos.

En la mayor parte de los proyectos de irrigación el agua total disponible es limitada, y puede ser usada en diferentes tipos de suelos o agrupaciones de suelos, ubicados a distancias variables desde la fuente de origen de agua. La productividad del agua es diferente entre los diferentes suelos y también variará al ser aplicada a un mismo suelo con una tecnología de utilización distinta. Asimismo, la productividad del agua estará afectada por las adiciones de fertilizantes y otras variables de manejo, así como por las condiciones climáticas y varias características hidromecánicas del suelo.

El objetivo de incorporar variables y constantes de suelos y clima en el análisis de las funciones de producción, es permitir la predicción de la respuesta en rendimiento de los cultivos sobre una gama amplia de condiciones de suelo, clima y ubicación, de tal forma de hacer innecesario llevar a cabo experimentos en cada tipo de suelos en particular, cuya validez para condiciones de clima variable será discutible en cualquier caso.

humedad del suelo, afectando el stress hídrico, la marchitez y el rendimiento final. Si el suelo se encuentra con máxima disponibilidad de agua en el momento de la siembra o plantación y es mantenido en esa condición a lo largo de la temporada de cultivo, probablemente se obtendrá la máxima velocidad de crecimiento. Sin embargo, si en un momento del cultivo se decide aplicar un riego, surgen tres interrogantes: cuánta agua debe aplicarse?, cuándo debe aplicarse ésta?, y en qué forma debe aplicarse?, lo que constituye en esencia, toda la tecnología del riego.

La decisión respecto a las interrogantes planteadas, lleva implícito un costo, tanto en el insumo agua, la mano de obra y la energía, así como el costo de la inversión en infraestructuras de riego necesarias para la aplicación del agua; la optimización de la operación del riego dependerá de las relaciones entre este costo y los beneficios marginales que puedan obtenerse con dicha tecnología.

La función de producción del agua de riego, es una función continua en que la variable independiente (x), que llamaremos genericamente "tecnología de riego" y representa el valor ponderado de la carga de agua almacenada en el suelo, disponible para la transpiración y producción del cultivo, que una cierta práctica de riego crea en el tiempo y en el espacio en el campo regado, de acuerdo con las ecuaciones 1 y 2.

$$y = f(x) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$y = \int_0^x \int_0^t h d l d t \quad \text{Ecuación 2}$$

en que:

y es el rendimiento del cultivo

x es la tecnología de riego

l es el largo del campo regado

t es el tiempo que dura la estación de crecimiento

h es la lámina o carga de agua aplicada al cultivo

Las formas de la función de producción del agua y de la función de distribución o uniformidad de aplicación han

De esta forma puede optimizarse la superficie regada, para obtener un nivel de rendimientos y una rentabilidad adecuadas de la tecnología de riego, que pueden corresponder no al máximo rendimiento físico posible de alcanzarse (rendimiento potencial), sino que al rendimiento óptimo económico.

Es necesario disponer entonces, de información acerca de como es afectado el rendimiento final por aplicaciones de diversas cantidades de agua, con frecuencias de riego diferentes, para desarrollar programas y estrategias de riego diseñadas para incrementar o mantener los rendimientos, al reducir las cantidades de agua aplicadas.

OBJETIVOS DEL PROYECTO PROPUESTO

- 1.- Establecer funciones de producción del agua para diferentes frecuencias de irrigación, en el sistema de producción olerícolas -- culturas de lluvia
- 2.- Establecer funciones de producción de nitrógeno de fertilizantes en el sistema de producción olerícolas -- cultura de lluvia.
- 3.- Establecer superficies de respuesta irrigación -- fertilizante nitrogenado.

- SCHECHT, R.J., DILLON, J.L., and HARDNER, J.B. 1976
Agricultural Decision Analysis. Iowa State Univ. Press
- BLUM, L.N. 1975
Response Surface Analysis Design. In: V.J. Bofinger and J.L. Wheeler (Eds;) "Developments in Field Experiment Design and Analysis" Commonwealth Agr. Bureau.
- BAUDER, J.W., HANIKS, R.J., and JAMES, D.W. 1975
Crop production functions determinations as influenced by irrigation and nitrogen fertilization using a continuous variable design. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 39:1187-1192
- BURT, O.R., and STRAUER, M.S. 1971
Economic Analysis of Irrigation in subhumid climate Amer. Jour. Agri. Econ. 53:33-46
- CADY, F.B., and LAIRD, R.J. 1969
Bias error in yield function as influenced by treatment design and postulated model. Soil Sci. Soc. Amer. Proc 33:282-286
- CARRUTHERS, I.D., and DONALDSON, S.F. 1971
Estimation of effective risk reduction through irrigation of a perennial crop. Jour. Agr. Econ. 22:39-48
- DOWNY, L.A. 1972
Water yield relations for non-forage crop. ASCE Jour. Irrig. Drain. Div. 98(IR2):107-115
- FAWCETT, R.H. 1973
Toward a dynamic production function. Jour. Agr. Econ. 24: 543-555.
- GUROVICH, L. 1977
El costo del riego tecnificado. El Campesino CVIII(9): 40-49
- GUROVICH, L. 1977
Los beneficios del riego tecnificado El Campesino CVIII(10-11):32-39
- GUROVICH, L. 1979
Effects of improved field practice on crop yield, water use and profitability of irrigation. Irrigation Sci.

- GILDA, L. 1973
Economic Impact of irrigation technology on vegetable crops in developing countries. Acta Horticulturae Series (International Soc. for Hort. Sciences)
- GUROVICH, L. 1973
Evaluación económica de la tecnificación del riego a nivel predial. I.: Funciones de producción para el agua de riego. Informe final proyecto de investigación 200/78 Universidad Católica de Chile.
- GUROVICH, L. y MANRIQUEZ, I. 1980
Análisis de alternativas de inversión en tecnificación del riego en predios agrícolas. Ciencia e Inv. Agr. 7(1): -- en preparación --
- GUROVICH, L. y MANRIQUEZ, I. 1980
Metodología de cálculo del costo del riego tecnificado. Ciencia e Inv. Agr. 7(2): -- en preparación --
- HANKS, R.J. 1974
Model for predicting plant yield as influenced by water use. Agr. J. 65:660-665
- HANKS, R.J., KELLER, J., RASMUSSEN, V.P., and WILSON, G.D. 1976
Line source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. Soil Sci. Soc. Amer. J.: 40:426-429
- HEADY, E.O., and DILLON, J.L. 1961
Agricultural production functions. Iowa State Univ. Press
- HEADY, E.O., HEXEM, R.W. 1978
Water Production Functions for Irrigated Agriculture. Iowa State Univ. Press
- HILLEL, D. and GURON, V. 1973
Relations between evapotranspiration rate and maize yield. Water Resour. Res.: 9:743-749
- MAPP, H.P., EIDMAN, V.R., STONE, J.F., and DAVIDSON, J.M. 1975
Simulated soil water and atmospheric stress-crop yield relationships for economic analysis. Tech. Bull. Agr. Exp. St. 1140. Oklahoma State Univ.
- MINHAS, B.S., PARIK, K.S., and SRINIVASAN, T.N. 1974
Toward the structure of a production function for wheat yields with dated inputs of irrigation water. Water Resour.

- lity response studies. SoilSci.Soc.Amer.Proc.24:289-293
- PARKS, W.L., and KNETSCH, J.L. 1969
Corn yields as influenced by nitrogen level and drought intensity. Agron.J 51:363-364
- SEGNER, I. 1978
A note on the economic significance of unifor water application. Irrigation Science 1(1):19-26
- SHALHEVET, J., MANTELL, A., BIELORAI, H., and SHIMSHI, D. 1976
Irrigation of field and orchard crops under semi-arid conditions. IIIC Special Publication
- STEWART, J.I., HAGAN, R.M., and PRUIT, W.D. 1974
Functions to predict optimal irrigation programs. ASCE Jour.Irrig.Drain.Div.100(IR2):179-199
- STEWART, J.I., and HAGAN, R.M. 1973
Functions to predict effects of crop water deficits ASCE Jour.Irrig.Drain.Div. 99(IR2):200-211
- WU, I., and LIANG, T. 1972
Optimal irrigation quantity and frequency. ASCE Jour.Irrig.Drain.Div.98(IR2):117-133
- YARON, D. 1973
Wheat response to soil moisture and optimal irrigation policy under conditions of unstable rainfall. Water Resour. Res. 9:1145-1154
- YARON, D. 1972
Estimating procedures for response functions of crops to soil water content and salinity. Water Resour. Res.8:291-300
- YARON, D. 1971
Estimation and use of water production functions in crops. ASCE Jour.Irrig.Drain.Div.97(IR2):291-304

El sistema experimental propuesto para la presente es el de "línea única de aspersores" (line source) descrito por HAWKS, et alii. 1974, ya que este sistema permite obtener información eficiente y confiable para alcanzar los objetivos de la presente.

Las culturas para las cuales se determinarán las funciones de producción del agua y del nitrógeno, están representadas por dos sistemas de producción

- I Melón - tomate - maíz & feijão
- II Cebolla - Melancia - sorgo

Los tratamientos propuestos son los siguientes:

- 5 frecuencias de irrigación (una línea de aspersores para cada frecuencia, sin interacción entre líneas consecutivas). En todas las líneas se aplicará la misma carga de agua, con el fin de poder comparar los resultados obtenidos, entre los tratamientos de frecuencias de irrigación. El control de frecuencias se realizará a 10 metros de la línea de aspersores, de tal forma de provocar excesos de agua en las proximidades del aspersor, para obtener la función completa.
- 5 niveles de fertilización nitrogenada, desde 0 a 400 Kg de N por hectarea (exceso), con el fin de tener la función de producción completa.

El diseño experimental se presenta en el diagrama adjunto. El trabajo será repetido por dos años consecutivos, con el fin de obtener resultados más concordantes con posibles variaciones de clima y efectos del cultivo sobre la capacidad productiva del suelo.

Las superficies que cubrirá el ensayo serán las siguientes:

Superficie de riego I	0.75	m ²	
Superficie de riego II	0.75	m ²	
Frecuencia de irrigación	0.5	m ²	
Nivel de Nitrógeno	200	g	
Lámina de agua	30	m ²	(2 láminas a cada lado de la línea 30x10m)
Plantas por subparcela	60		(10 hilos por 6 plantas)

Las determinaciones en terreno durante la realización del experimento de campo serán:

- 1.- Láminas de agua aplicadas, con pluviómetros, a 5 distancias, a partir de la línea de aspersión, a cada lado de la línea, con 10 repeticiones (2 en cada parcela de nivel de fertilizante)
- 2.- Uso-consumo real de agua, con sonda de neutrones y muestreo de suelos antes y después de cada riego, en los mismos puntos de evaluación de las láminas aplicadas.
- 3.- Producción (rendimiento) de las culturas.
- 4.- Variaciones de salinidad en el perfil del suelo, medidas en muestras de solución del suelo obtenidas con cápsulas de tensión (suction cups), obtenidas en los mismos puntos de evaluación de las láminas aplicadas, a tres profundidades del suelo.
- 5.- Mediciones tensiométricas en igual localización que las determinaciones de salinidad.

El análisis estadístico de los diseños experimentales sistema line - source, se realizará de acuerdo con los conceptos desarrollados por BALDWIN de amplia aceptación en la literatura científica especializada.

Los resultados que pueden obtenerse a partir del trabajo experimental en curso, pueden resumirse así:

- 1.- Funciones de producción del agua de riego:
 - para diferentes niveles de fertilizante
 - para diferentes frecuencias de irrigación

- función de producción en base económica (r de costo de irrigación vs. Cr entrada por venta de productos)

Funciones de producción del fertilizante nitrogenado:

- para diferentes regímenes de riego (frecuencias y lánimas aplicadas)
- por cultura
- por sistema de producción
- función de producción en base económica (Cr costo de fertilizante vs. Cr entrada por venta de productos)

3.- Superficie de respuesta Fertilizante -- agua

- niveles de sustitución física y económico por cultura y por sistema de producción.

4.- Eficiencias en el uso del agua

- $E_i = WET/WA$
- $E_{u_1} = \text{Producción/Usó-consumo}$
- $E_{uc} = WET \text{ óptimo}/WET \text{ real}$
- $E_{u_2} = \text{Producción/Agua aplicada}$
- $E_{otp} = \text{máx/producción:agua aplicada/}$

5.- Coeficientes de evapotranspiración K_c

- por cultura
- por régimen de irrigación
- en etapas sucesivas durante todo el año para cada sistema de producción.

6.- Relación entre déficit de agua y rendimiento relativo

- por cultura
- por nivel de fertilización

7.- Días de stress hídrico y su efecto sobre el rendimiento relativo de las culturas.

8.- Comprobación de los modelos de drenaje y corrección de los valores de conductividad hidráulica y gradientes de tensión por efecto de las culturas

9.- Evaluación de los requerimientos de lavado para evitar la salinización del suelo.

10.- Comprobación de predicciones de respuesta de las culturas obtenidas con modelos de simulación del sistema suelo- agua - planta-atmósfera.

PRELIMINAR PARA LA EJECUCION DEL PROYECTO DE PESQUISA EN
SISTEMAS DE PRODUCCION :

Equipo técnico:

1 Coordinador especialista en Manejo de Suelos y Agua, en tra-
intermitente durante los dos años de realización del proyec-
to, ocupando 6 meses en total.

1 Especialista en Irrigación

12 meses durante los dos años

1 Especialista en Fertilidad de Suelos

6 meses durante los dos años

1 Físico de Suelos

3 meses durante los dos años

1 Especialista en Salinidad y Drenaje

6 meses durante los dos años

2 Técnicos agrícolas o estagiarios

24 meses cada uno

1 Técnico de laboratorio

8 meses durante los dos años

2.- Gastos directos del proyecto:

Materiales y equipos Cr 150.000

Movilización 30.000

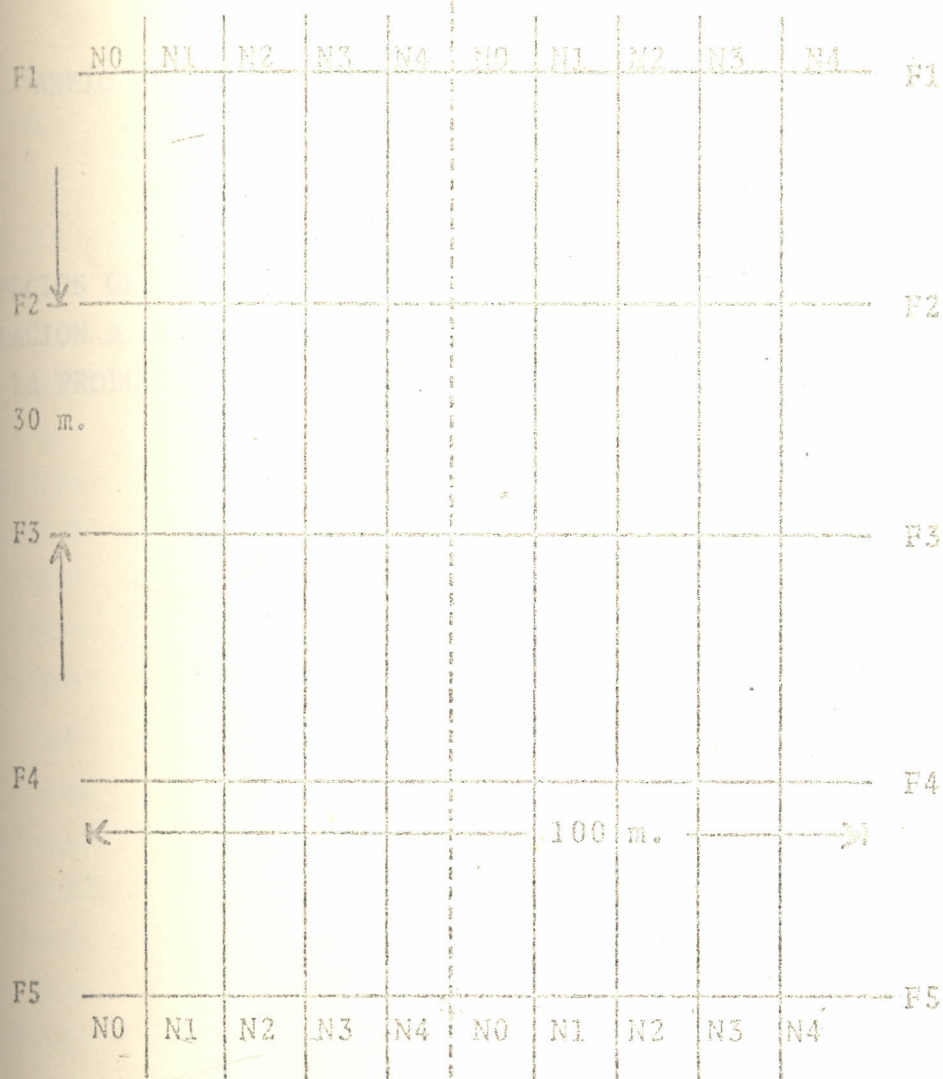
Divulgación y extensión 100.000

)Cr 280.000

DIAGRAMA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

S.P. I

S.P. II



SISTEMA DE
PRODUCCION I

Melão - Tomate
Milho + Feijão

SISTEMA DE
PRODUCCION II

Melancia - Cebolla
Sorgo

ANEXO N° 4

ASPECTOS GENERALES DE PESQUISA EN MANEJO DE AGUA Y SUELO EN
RELACION A SU ADAPTACION A PROBLEMAS ACTUALES Y POTENCIALES
DE LA PRODUCCION EN AREAS IRRIGADAS DEL NORDESTE.

Dr. Luis A. Gurovich
Consultor IICA - EMBRAPA/CPATSA

1 9 7 9

EFECTOS GENERALES DE PESQUISA EN MANEJO DE SUELOS Y AGUA EN
RELACION A SU ADAPTACION A PROBLEMAS ACTUALES Y POTENCIALES
DE LA PRODUCCION EN AREAS IRRIGADAS DEL NORDESTE.

Dr. Luis A. Gurovich
Consultor IICA-EMBRAPA/CPATSA.

INTRODUCCION

La actividad agropecuaria del Nordeste del Brasil se desarro-
lla casi en su totalidad en condiciones de secano, existiendo una
gran variabilidad en el total anual de precipitaciones, tanto en-
tre años consecutivos como entre distintas regiones del área. Sin
embargo, como resultado de la inestabilidad pluviométrica, y para
solucionar en parte los problemas sociales y económicos derivados de
los problemas de sequía, Brasil se ha abocado a un ambicioso plan
de incorporación de superficies al sistema de agricultura bajo
irrigación, para lo que ha destinado recursos financieros, humanos
y técnicos de una magnitud casi única en el mundo.

La incorporación de estas superficies a la irrigación se rea-
liza con el aprovechamiento de las aguas de lluvia que escurren y
son almacenadas en represas artificiales, labor que ha desarrolla-
do la DNOCS (Dirección Nacional de Obras contra la Seca), así como
a través del aprovechamiento de los recursos hídricos de los ríos
del Nordeste, siendo el principal el Río São Francisco, y la
CODEVASF (Corporación de Desenvolvimento del Vale de São Francis-
co), el organismo encargado de este aprovechamiento.

El plan de incorporación de superficies a la agricultura irri-
gada, que ha sido resumido y publicado oficialmente en 1970 por el
Ministerio del Interior (MINTER), bajo el nombre de "Programa Plu-
vianual de IRRIGAÇÃO", y para el cual el Gobierno de Brasil ha des-
tinado una gran cantidad de recursos, puede resumirse como sigue:

PERÍMETROS IRRIGADOS EN EL NORDESTE DE BRASIL (1980-1981)

POCS(Barragens - Azudes) PLAN: 100.000 Hectareas; 24.000 familias
1979: 9.000 Hectareas; 900 familias

CODEVASF(Rio SÃO Francis
co) PLAN. 112.000 Hectareas; 17 proyectos
1979: 1.800 Hectareas; 2 proyectos
(140 familias)

PRIVADO (margenes del río,
agricultura de va
zantes.) 40.000 Hectareas; (estimado)

TOTAL 260.000 Hectareas.

Como puede apreciarse el plan es de gran envergadura, y aunque su realización se encuentra un poco atrasada en relación con las metas establecidas, se estima que para 1985, todas las 260.000 hectareas estran en pleno funcionamiento como superficies irrigadas.

Los perímetros irrigados del Nordeste resumidos en el cuadro anterior tienen algunas características muy particulares, que determinan problemas actuales y futuros de producción y manejo de suelos y agua.:

- 1.- Son suelos rasos, con baja capacidad de almacenamiento de agua, baja fertilidad natural y que desarrollan graves problemas de drenaje y salinización cuando son regados en forma deficiente por sus características fisiográficas y topográficas.
- 2.- El clima presenta una condición de alta demanda evaporativa de la atmósfera, así como un regimen de lluvias incierto y torrencial, con un periodo de seca muy intenso y prolongado.
- 3.- Las culturas más comunes son olerícolas y frutícolas de poco arraigamiento, cultivadas bajo irrigación en la época de las secas y culturas de lluvia de periodos vegetativos cortos. Se han obtenido rendimientos altamente rentables, con una tecnología adecuada.

El agua es de excelente calidad y existe una disponibilidad razonable con eficiencia de irrigación alta.

De las características edafoclimáticas y agronómicas-culturales mencionadas para los perímetros irrigados del Nordeste, derivan una serie de problemas de producción y de manejo de los recursos productivos (agua - suelo) cuya solución requiere de PESQUISA. Como los problemas son variados y afectan al sistema productivo en el corto, mediano y largo plazo con intensidades diferentes, debe hacerse una priorización de las actividades de pesquisa porque los recursos humanos, financieros e técnicos son limitados y su asignación a la solución de los diferentes problemas debe hacerse con un criterio de optimización, considerando aspectos técnicos y económicos y de difusión y de aplicabilidad de la tecnología producida por la pesquisa.

Como el área irrigada es casi insignificante en extensión comparado con el área de secano, ya que no representa ni un 1% del total, pudiera pensarse que la labor de pesquisa agropecuaria debería centrarse casi exclusivamente en resolver los problemas de la agricultura de secano. Sin embargo, debe tenerse presente que:

- 1.- El valor de la producción de una hectarea irrigada es de 15 a 20 veces mayor que el de una hectarea de secano.
- 2.- El costo de inversión total para una hectarea irrigada sobrepasa hoy los U\$ 13.000 (Cr\$ 400.000,00) en los proyectos de irrigación de la CODEVASF, lo que significa un esfuerzo del país de significativa importancia, que hay que hacer producir y cuidar de su capacidad productiva para el futuro, con el uso de una tecnología desarrollada por las actividades de pesquisa.
- 3.- Una hectarea irrigada da ocupación a 10 veces más personas que una hectarea de secano, por lo que el impacto social de los perímetros irrigados debe tenerse en consideración.

En atención a los puntos anteriores, se justifica plenamente, más aún, resulta una necesidad imperiosa, el desarrollar una actividad de pesquisa de caracter integral y prioritario, para desarrollar tecnologías adecuadas para resolver los problemas de producción y utilización racional de los recursos productivos en los perímetros irrigados actuales y futuros del Nordeste.

Cual es la forma de desarrollar la pesquisa adecuada para resolver los problemas de los perímetros irrigados ? La experiencia mundial y del Brasil mismo indican que la solución U N I C A para resolver los problemas de manejo agronómico es entregada por la pesquisa formal basada en el método científico y que todo intento de encontrar soluciones por el método de probar y fallar (trial and error) no ha dado resultados ni en el mediano ni en el largo plazo.

PROBLEMAS DE MANEJO DE SUELOS ASOCIADOS CON LA PRODUCCION AGRICOLA EN LOS PERIMETROS IRRIGADOS DEL NORDESTE.

- 1.- La primera prioridad de pesquisa se relaciona con la protección de los suelos incorporados al cultivo bajo condiciones de irrigación, con el fin de no comprometer más todavía su capacidad productiva, y al mismo tiempo, desarrollar tecnologías para ser aplicadas desde el comienzo de la operación de los nuevos proyectos de irrigación, con el fin de mantener en el largo plazo la productividad inicial de estos suelos.

El deterioro de la capacidad productiva de los suelos, pocos años despues de haber sido incorporados al cultivo irrigado, ha sido detectado en todos los proyectos de irrigación del Nordeste, tanto de DNOCS como de CODEVASF. Si no se desarrolla un conjunto de normas agrotécnicas con el fin de proteger los suelos y evitar su deterioro, es posible que la vida útil de estas áreas para una producción económicamente rentable no sea superior a 15 años, lo que implica que la rentabilidad de las enormes inversiones realizadas sea negativa, provocándose además un problema social muy agudo, al quedar un número importante de familias repentinamente sin su fuente de trabajo, que se ha deteriorado hasta hacer se improductiva.

La responsabilidad y la importancia de desarrollar la tecnología para evitar el deterioro de la capacidad productiva de los suelos, y recuperar la de aquellos ya en proceso de deterioro, es muy relevante y corresponde exactamente a la filosofía de un Centro de Pesquisa de Recursos como CPATSA. Si los investigadores del Centro pueden llegar a producir esa tecnología en forma coherente e integral, incluyendo sistemas sencillos y viables para su implantación en los proyectos de irrigación, en un plazo de dos a tres años, efectivamente se estará cumpliendo una misión socio-económica y técnica de la pesquisa, que dará al Centro prestigio y a los investigadores una verdadera motivación para su actividad.

En el Anexo N° 2 de este Informe se presenta un programa de pesquisa detallado, cuyo objetivo es desarrollar tecnologías para el mantenimiento la capacidad productiva de los suelos incorporados a la agricultura irrigada y para la recuperación de aquellos suelos que se encuentran en proceso de deterioro por prácticas poco adecuadas de manejo de suelo y agua.

Un segundo programa de manejo de suelo, que debe enfocarse en la medida en que los nuevos proyectos de irrigación vayan comenzando a operar, se refiere al desarrollo de técnicas de incorporación del suelo virgen para aprovechar la fertilidad natural del suelo. Hoy en día el proceso de incorporación de suelos al cultivo irrigado, comienza generalmente con el desmatamiento y emparejamiento de los suelos con maquinaria pesada, retirandose desde la superficie que se va a cultivar, toda la primera estrata de suelo, que es aquella que tiene justamente la más alta fertilidad natural, ya que ha sufrido el efecto de la depositación, a lo largo de muchos años, de los residuos vegetales de la flora natural.

El desmatamiento manual y la nivelación sin retiro de la primera estrata de suelos, como proceso de incorporación de las nuevas superficies al cultivo irrigado, puede ser una alternativa que resulte en una diferencia de rendimientos y de mantenimiento de la capacidad productiva del suelo, que justifiquen un costo tal vez mayor que el sistema actualmente en uso.

El desarrollo de experiencias sencillas en este sentido, en ensayos controlados de campo, llevará al diseño del sistema más adecuado de incorporación del suelo virgen.

Uno de los aspectos menos estudiados y explotados en los perímetros agrícolas del Nordeste, es el aprovechamiento de los recursos de agua que se encuentran almacenados en el suelo mismo, siendo realizados los mayores esfuerzos en almacenar y/o conducir agua superficial de origen de lluvia o de río, hasta las áreas irrigadas, generalmente con un costo infraestructura de significativa magnitud.

La utilización de agua de pozos, ya sea esta subsuperficial o profunda, puede tener un gran impacto en la incorporación de nuevos núcleos productivos, especialmente en regiones de difícil comunicación con centros poblados mayores, y en pequeñas explotaciones agrícolas, a un costo de implantación significativamente inferior al de los grandes proyectos de irrigación.

La pesquisa agropecuaria para este tipo de explotación debe ir dirigida a aspectos relacionados con la calidad del agua obtenida, en relación a los suelos y a los cultivos susceptibles de ser utilizados por los productores, así como al diseño de sistemas de irrigación de alta eficiencia y bajo costo, especialmente cuando los recursos de agua explotada desde el suelo son escasos.

Una parte importante del total de agua incorporada al suelo durante la irrigación, es perdida desde el suelo por el proceso de evaporación desde la superficie, sin ser realmente aprovechada por las culturas. Asimismo, durante el periodo de lluvias, una parte de los recursos hídricos se pierden por efecto del escurrimiento superficial, sin ser incorporados al perfil del suelo.

Una línea de pesquisa de significativo interés e importancia puede ser desarrollada en este sentido, para diseñar alternativas tecnológicas que permitan incrementar y mantener en el suelo, a disposición de las plantas, el agua de irrigación o

lluvia. El uso de coberturas (mulch) de suelo, ya sean residuos vegetales u otros materiales, la orientación de los surcos de irrigación, el uso de sistemas de irrigación mecánicos de alta eficiencia, pueden ser algunas de las alternativas a estudiar.

La pesquisa realizada a este respecto en varios lugares del mundo, han permitido ahorros de agua de irrigación de más de un 30%, al controlar las pérdidas de agua por evaporación y al incrementar la infiltración del agua de lluvia sobre las superficies agrícolas.

Uno de los problemas graves que se han detectado en los proyectos de irrigación del Nordeste, es la erosión causada por prácticas de irrigación poco adecuadas, así como los efectos del agua de lluvia sobre el suelo descubierto y no acondicionado para la intensidad de éstas.

Los problemas de erosión por irrigación deben ser estudiados y debe establecerse exactamente los caudales máximos no erosivos para cada tipo de suelo, así como una técnica sencilla para evitar que el colono productor use caudales mayores durante su irrigación. La labor de extensión en este aspecto debe ser muy intensa, correspondiéndole al pesquisador en este caso, concientizar de los peligros de erosión por irrigación, a los extensionistas de campo.

Asimismo, es necesario diseñar algunas técnicas de preparación de suelos en la época de las lluvias, para incrementar al máximo la infiltración de esta agua, con dos objetivos: a) evitar la erosión y b) aprovechar de realizar un lavado de sales que pudieren haberse acumulado durante la época seca en el perfil del suelo.

PROBLEMAS DE MANEJO DE AGUA Y SUELOS ASOCIADOS CON LA PRODUCCION EN LOS PERIMETROS IRRIGADOS DEL NORDESTE.

1.- La primera prioridad en este aspecto es un desarrollo de una completa tecnología de operación agrícola de las prácticas de irrigación, asociada a las normas de operación hidráulica de los proyectos.

En cada caso específico de proyectos de irrigación, existirá una política de distribución de agua a los colonos y productores mayores, en cuanto a frecuencia (turno de riego) y a volumen total entregado (tiempo por caudal en cada toma de agua). La tecnología de irrigación a este respecto debe estar asociada a esa política de distribución y es responsabilidad de la pesquisa agropecuaria el elaborar los datos correspondientes para que la política de distribución de agua esté de acuerdo a las características de los suelos, de los cultivos y del clima, de tal forma que los rendimientos de los cultivos se vean afectados en la menor forma posible como resultado de las aproximaciones y compromisos que necesariamente deberán existir para adaptar una operación hidráulica racional del proyecto de irrigación con las prácticas agronómicas que permitan mantener una alta disponibilidad de agua en el suelo, para las culturas.

En este sentido, deben considerarse dos aspectos fundamentales y que se complementan: en primer lugar, la evaluación de las Funciones de Producción del agua (Anexo N° 3 de este informe), que se refieren a la disminución de rendimiento que puede esperarse de las culturas irrigadas, con láminas o frecuencias diferentes al óptimo, evaluadas desde un punto de vista técnico y económico. En segundo lugar, el desarrollo de un sistema de operación de la irrigación, en que se determina la lámina de agua a aplicar y la frecuencia de irrigación más adecuadas, en base a parámetros edafoclimáticos y de las culturas. Un ejemplo de esta información se presenta en el Anexo N° 9 de este Informe.

- 2.- Un problema adicional de manejo de agua y suelos en condiciones de irrigación, se refiere al estudio de las interacciones entre la fertilidad del suelo y la irrigación, entendiéndose en este caso a la fertilidad tanto como un aspecto de disponibilidad de nutrientes, como aspectos físicos de intercambio gaseoso y de calor entre el suelo y la atmósfera.

Importantes experimentos deben ser desarrollados en este aspecto, ya que la disponibilidad real de nutrientes del suelo, no solo depende de su contenido relativo en un momento dado, sino de su posibilidad real de transporte hasta las raíces de las plantas, y las transformaciones bioquímicas, microbiológicas y fisicoquímicas que los nutrientes experimentan en el suelo durante la temporada de cultivo, y que dependen fundamentalmente del agua en el suelo.

En el caso de las condiciones edafoclimáticas de los perímetros irrigados del Nordeste, el efecto del contenido de agua en los suelos y la variación que este sufre en el tiempo, tienen un efecto dramático sobre la disponibilidad real de los nutrientes del suelo, así como sobre el intercambio gaseoso y de calor del suelo.

Para el caso del nitrógeno y del agua, en el Anexo N° 3 de este Informe, se plantean algunos estudios, en base a la técnica de "line-source" para establecer superficies de respuesta al agua y nitrógeno. Estudios similares, así como un trabajo de laboratorio e invernadero intenso de incubación de suelos, con y sin plantas, permitirán, en el largo y mediano plazo, comprender mejor la interacción entre otros nutrientes y agua, y diseñar tecnologías acordes con las condiciones del Nordeste, en relación al uso adecuado de fertilizantes y preparación de suelos.

Los proyectos de irrigación existentes tienen una parte significativa de sus suelos afectados por problemas de salinidad y drenaje, como resultado de prácticas de irrigación poco adecuadas. Una línea de trabajo que es necesario reforzar y desarrollar en forma urgente, se refiere al desarrollo de una tecnología de drenaje y control de la salinidad.

Sobre esta necesidad se ha insistido en varios Informes y relatorios; sin embargo, un enfoque más integral de los problemas no sólo de salinidad y drenaje, sino que del conjunto de las causas del deterioro de la capacidad productiva de los suelos, se ha presentado en el Anexo N° 2 de este

Informe, donde se incluyen posibles estudios, que llevarán al desarrollo de la tecnología necesaria para mantener en los proyectos de irrigación, condiciones de drenaje y salinidad adecuadas para todas las culturas.

QUISAS ASOCIADAS A PROBLEMAS DE MANEJO DE SUELOS Y AGUA

Los aspectos económicos de la irrigación, en relación a los costos tanto por los volúmenes totales de agua, como a la aplicación misma durante la irrigación, son aspectos que deben ser evaluados, pero dentro de los Sistemas de Producción y no por cada cultura individual, a lo largo de una secuencia anual, con el fin de poder establecer un costo real del insumo " irrigación " dentro de los costos totales de la producción.

Por otra parte, es necesario evaluar los beneficios de la irrigación, tanto en relación con los rendimientos de las culturas como con las economías de cultivo que se obtienen con técnicas de riego adecuadas a los suelos, el clima y las culturas.

Estos aspectos económicos son de gran relevancia y pueden ser obtenidos como información adicional a partir de trabajos de pesquisa como los presentados en el Anexo N° 3 de este Informe, acerca de Funciones de Producción para el agua, en Sistemas de Producción bajo Irrigación.

Las diferentes alternativas de aplicación de agua a los suelos, o sea, los métodos de irrigación, deben ser evaluados desde un punto de vista técnico y económico, para lo que es necesario desarrollar experiencias de campo con diferentes culturas y métodos de aplicación; estos trabajos se han desarrollado en forma esporádica en el Centro, pero por su alto costo y la importancia secundaria que este tema tiene, en relación a las pesquisas establecidas anteriormente, estimamos que esta línea de trabajo deber ser abordada por CODEVASF ya sea en forma independiente, o con el aporte de nuevos técnicos y recursos a CPATSA, con el fin de lograr un resultado eficiente en estos aspectos de comparación de equipos y métodos de irrigación.

La pesquisa en Manejo de Suelos y Agua en los pozos
metros irrigados del Nordeste no tendría ninguna razón de
ser, ni justificación, si los resultados de esta pesquisa no
fueran en último término, aplicados por los colonos y produc-
tores.

No resulta fácil desarrollar las labores de exten-
sión en los aspectos de Manejo de Suelos y Agua, incluida la
irrigación, por diversos motivos, entre los que se cuenta el
escaso valor relativo que tiene este insumo, en relación a
otras variables de los cultivos, así como la falta de personal
de extensión que realmente comprenda la importancia de una
irrigación adecuada y disponga de los elementos y conoci-
mientos para una efectiva labor de extensión en irrigación.

Por ello, es necesario desarrollar una pesquisa
asociada, para encontrar las mejores y más eficientes técni-
cas de extensión en irrigación. Para desarrollar esta línea de
trabajo, el concurso interdisciplinario, entre extensionistas
y pesquisadores es fundamental.

...iendo los aspectos desarrollados anteriormente y priorizando trabajos de investigación puede puntualizarse lo siguiente:

PROBLEMAS ACTUALES DE LOS PERIMETROS IRRIGADOS DEL NOROCCIDENTE

- i) Suelos que han perdido su capacidad productiva por salinización y/o drenaje deficiente.
- ii) Falta de una tecnología coherente de irrigación de acuerdo a las normas de operación de los proyectos de CODEVASA, DUCOS, e incluso, privados.
- iii) Desarrollo de una tecnología de drenaje y control de salinidad para suelos recién incorporados al cultivo bajo irrigación.
- iv) Evaluación de los aspectos económicos de la irrigación en Sistemas de Producción.
- v) Evaluación económica y agronómica de métodos de irrigación.
- vi) Desarrollo de una tecnología de extensión en irrigación.

PROBLEMAS DE IMPORTANCIA SECUNDARIA EN LOS PERIMETROS IRRIGADOS

- i) Aprovechamiento del recurso agua del suelo para los cultivos.
- ii) Mejoramiento del almacenamiento y conservación del agua en el suelo.
- iii) Técnicas de incorporación de suelo virgen.
- iv) Interacción agua - fertilidad del suelo (nutrientes - fertilizantes y aspectos físicos).
- v) Irrigación con agua de baja calidad proveniente de pozos.
- vi) Desarrollo de métodos de irrigación no convencionales en perímetros irrigados.

EFECTOS ORGANIZATIVOS DE LA PESQUISA EN MANEJO DE SUELOS Y AGUA

- 1.- Coordinación de las pesquisas en el Nordeste.
- 2.- Ejecución de la pesquisa propiamente tal:
 - El papel del investigador
 - La actividad del investigador
 - La eficiencia del Investigador
 - La actitud del investigador (Uso del método científico)
- 3.- Organización, responsabilidad, abertura y verticalidad en la pesquisa de Manejo de Suelos y Agua.
 - El papel del Líder o Coordinador del grupo
 - El papel de los investigadores asociados
 - El papel del Consultor.

CONCLUSIONES

- 1.- En la selección, priorización y diseño de pesquisas en Manejo de Suelos y Agua para perímetros irrigados, debe adoptarse un criterio uniforme, ya sea el de importancia económica del problema, superficie afectada con los resultados de la pesquisa o los planes de explotación existentes para los proyectos de irrigación.
- 2.- La actividad de pesquisa en irrigación debe ser prioritaria y tener apoyo y compromiso dentro del conjunto de trabajos de CPATSA.
- 3.- Cuidar de la productividad de los perímetros existentes, desarrollar tecnologías de irrigación para los nuevos perímetros y evaluar económicamente las prácticas de irrigación en Sistemas de Producción, son las PRIORIDADES de la pesquisa en Manejo de suelos y agua.

ANEXO Nº 5

TÉCNICAS PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS DE PRODUCCION.

Dr. Luis A. Gurovich
Consultor IICA/EMBRAPA/CPATSA.
Petrópolis PE. - 1979

REFERENCIAS

1. Anál.
Chen
Cole
2. Syst.
Dand
Joh

TECNICAS PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS DE PRODUCCION

Seminario CPATSA/EMBRAPA, Petrolina, Agosto 13, 1979

Dr. Luis A. Gurovich

RESUMEN

1. Se analizan los conceptos de:
Sistema, Sistema de Producción Agrícola, Modelos, Análisis de Sistema y Simulación de Sistemas.
2. Se describen algunas técnicas para predecir comportamiento de un sistema frente a cambios en uno o más componentes.
3. Se describen los pasos a seguir en la elaboración de un modelo y el papel de la experimentación científica en la generación de funciones y cuantificación de parámetros.
4. Se explica como se trabaja con un modelo para predecir el comportamiento del sistema.
5. Comparación entre los resultados obtenidos con el modelo (predicción) y los resultados experimentales, o sea, la evaluación del modelo.
6. Se discuten los conceptos aquí tratados en relación con los proyectos de pesquisa de CPATSA.
7. Requerimientos para trabajar en Análisis de Sistemas:
Equipo Humano - Equipo Técnico - Modelo con objetivos muy claros y precisos.

REFERENCIAS

1. Análisis de Sistemas. Teoria e Pratica
Chandos, A., Graham, I. Williamson, R.
Coleção Universitaria de Administração
2. Systems Analysis in Agricultural Management
Dent, J. B., Anderson, I. R.
John Wiley and Sons. 1971

Ha sido muy interesante para mí, saber que el Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA/EMBRAPA), ha organizado parte de sus actividades de pesquisa alrededor de un enfoque de sistemas de producción, porque es la única forma adecuada de estudiar científicamente un problema tan complejo y dinámico como el de la producción agropecuaria. Como todas las disciplinas, el estudio de los sistemas usa una técnica que le es característica y que se llama ANÁLISIS DE SISTEMAS o PESQUISA OPERATIVA. Esta técnica de estudio tiene algunas características muy especiales, como se presenta a continuación.

Yo estoy dirigiendo en Chile un grupo de pesquisadores para desarrollar el tema "Análisis de Sistemas aplicado a problemas de Irrigación". Después de conversar con algunos pesquisadores de este Centro, y de acuerdo con la Dirección de CPATSA, ha parecido conveniente presentar este Seminario sobre técnicas para el estudio de Sistemas de Producción, con el fin de definir más exactamente en qué consiste este tipo de estudios y cual es el papel que a cada uno de nosotros nos corresponde como pesquisadores en este enfoque integral y dinámico de pesquisa que se llama Sistema de Producción.

En primer lugar, vamos a definir que es un sistema:

Es un conjunto de componentes complejos, que están interrelacionados entre sí y que generalmente tienen un comportamiento variable en el tiempo.

Ejemplos - El sistema económico brasileiro

- El sistema suelo-agua-planta-atmósfera
- El sistema de pesquisa agropecuaria EMBRAPA
- El sistema de producción del colono.

Vemos aquí que los sistemas tienen dos características fundamentales para nosotros:

1. Son demasiado complejos para experimentar directamente con ellos.
2. Deben tener límites muy precisos de acción porque si no, es imposible estudiarlos. Por ejemplo, el Sistema 2. - del ejemplo afecta en cierta forma al sistema 1.- y también al sistema 3.-, pero el estudio de estos efectos está fuera del ámbito de la pesquisa agropecuaria misma.

Como podemos entonces estudiar y investigar un Sistema? Esto se hace a través de un MODELO DEL SISTEMA.

¿Cuál es la relación entre rendimiento de la cultura y régimen de

1. ¿entre rendimiento y costo de producción?

Rendimiento = f (irrigación)

Rendimiento = f (Costo)

¿Cómo varía el rendimiento si se varía el régimen de irrigación

en problemas de costo Capital de trabajo limitado?

Para el caso de Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-
árido el sistema el el lote del colono.

El modelo debemos definirlo, o sea, establecer los componentes más
relevantes (encuesta Dr. Calegar) y las selecciones cuantitativas entre esos
componentes (experimentos de los pesquisadores).

La teoría es el conjunto de relaciones entre los componentes del
sistema. Debe ser definida por el Coordinador del Proyecto ayudado por el
analista de sistemas en base a la literatura y el conocimiento del sistema
que existe como resultado de investigaciones anteriores.

Aquí es conveniente indicar el papel de la experimentación de cam-
po con fines de modelación de sistemas de producción:

La experimentación o pesquisa de campo con fines de modelación,
sirve para:

1. establecer los coeficientes de las relaciones entre parámetros.
2. comparar las predicciones de respuesta del sistema frente a
cambios en los componentes.

Se la predicción que se obtiene con el modelo es buena, se tiene
un modelo que "trabaja" y se pueden extrapolar los resultados a otras condi-
ciones. Si la predicción no es buena, se debe incorporar al modelo otros com-
ponentes y relaciones, que lo hajam más representativo del sistema en es-
tudio. Así, la teoría no puede avanzar sin experimentación, porque no ten-
dría los coeficientes de las funciones que la forman, pero la experimentación
sin la teoría es estéril, porque no pueden agruparse en forma coherente los
datos obtenidos en el campo.

Este ocurre a veces, cuando se diseñan experimentos para "resolver
o responder" a problemas, sin elaborar primero una teoría adecuada y seleccio-
nar aquellos tratamientos y metodologías que realmente puedan permitir alcan-
zar los objetivos de la pesquisa. La aplicación del METODO CIENTIFICO a la
pesquisa es algo que parece obvio, pero que muchas veces se deja de lado, con

resultados que no tienen relación ni con el problema que se pretendió resolver con el esfuerzo económico y humano invertido en la pesquisa.

La experimentación con fines de modelos de sistemas de producción tiene algunas características muy especiales, como por ejemplo:

Experimentación (pesquisa de campo) con fines de modelos de sistemas de producción.

¿Qué experimentos?

¿Los que indique la modelación?

¿Cómo hacerlos?

¿Dónde dentro de experimentos específicos más completos?

¿Cuáles son los objetivos?

Primera etapa: Preparar las relaciones cuantitativas entre componentes

Segunda etapa: Comparar resultados de simulación con datos de campo obtenidos en experimentos comparables.

Aquí debemos plantear una inquietud que ha surgido de mi conversación con algunos investigadores de CPATSA. Existe la idea que todos Uds están trabajando en Sistemas de producción, lo cual es efectivo, pero de manera indirecta solamente.

Cada uno de Uds en su especialidad y con las técnicas de pesquisa que son propias de la especialidad, coopera con la pesquisa en Sistemas de producción, dentro de otras pesquisas que cada uno de Uds realiza. Los que realmente trabajan en sistemas de producción, deben usar técnicas específicas de esta disciplina y recibir su cooperación.

Las técnicas para trabajar en Análisis de sistema son:

- 1. Control de inventarios
- 2. Teoría de juegos
- 3. Cadenas de Markov
- 4. Teoría de filas
- 5. Análisis de redes
- 6. Programación lineal
- 7. Simulación.

Estas son algunas de las técnicas, que resumidas en forma base sirven para:

1. Control de inventarios - es importante cuando los productos y los insumos pueden comprarse, venderse en distintas épocas del año y para maximizar los beneficios se optimiza los inventarios o existencias en el tiempo.

2. La teoría de juegos - se ha desarrollado para ayudar en la decisión en condiciones de incertidumbre o de conocimientos imperfectos (Clima - precios, etc.).

3. Las Cadenas de Markov - se usan para pesquisas de proyección en el tiempo (Ejemplo : cuántos colonos pueden adaptar una tecnología de cultivo determinada en uno o dos años ?).

4. La Teoría de filas - sirve para estudiar que pasa con operaciones que deben esperar en el tiempo, en relación con beneficios (Ejemplo : en cuánto van a disminuir los beneficios del sistema de producción, si se retrasa la siembra o el control de plagas en 2 semanas ?).

5. El Análisis de redes - sirve para optimizar las actividades en el tiempo, es una técnica para tener los insumos a tiempo para las operaciones que se requiere hacer en el sistema de producción.

6. La programación lineal - es un método computacional que sirve para determinar el mejor plan de acción, entre muchos planes posibles en relación con la disponibilidad de recursos. Ejemplo de un uso de Programación lineal.

Rendimiento de la Cultura (kg.)

AGUA	NIVEL DE ADUBO				
	1	2	3	4	5
A	120	140	160	180	220
B	130	150	170	190	230
C	150	180	200	215	240
D	160	190	210	230	245
E	180	210	200	190	185

1 m³ de agua aplicada = Cr 100.-

1 ton. Adubo = Cr 1.300.-

1 Kg. Rendimiento = Cr 1.10.- (TOMATE)

Capital total disponible para agua y adubo = Cr 15.000.-

¿Qué superficie planter, cuenta agua aplicar, cuanto adubo usar, con el fin de maximizar la rentabilidad de la operación ?

La tabla de los ejemplos ha sido resultado de las pesquisas de los especialistas en adubos y irrigación, con las técnicas de pesquisa de las especialidades, pero ellos no pueden responder a la pregunta del ejemplo. Esto lo hace el investigador de Análisis de Sistemas de Producción.

No siempre las relaciones entre los parámetros son lineales y entonces la programación que debe usarse es la Programación geométrica, un caso especial de esta programación es la Programación cuadrática.

En el estudio de sistemas de producción, una técnica muy importante y útil es la simulación, una técnica para estudiar y predecir el comportamiento de un sistema en el tiempo, al variar uno o más componentes.

Etapas de la simulación:

1. Desarrollo (Síntesis) de un modelo que represente al sistema en estudio.
2. Predicción del comportamiento del modelo.
3. Comparación de los resultados de la simulación (predicción) con los resultados experimentales.

En la modelación con fines de simulación de sistemas, cuatro aspectos son importantes:

1. Definir el objetivo
 - A. biológico o bioeconómico
 - M. descriptivo, analítico e constructivo

2. Justificación del modelo

3. Modelo diagramático

Sirve para definir el tipo de datos que se necesitan y la forma en que se necesitan

Analista - investigador

Sintetista - Coordinador

4. Validación del modelo

Como pueden aplicarse a la realidad las relaciones entre componentes obtenidos en la pesquisa ?.

El objetivo para el Centro de Pesquisa Agropecuária del Trópico Semi-Árido debe ser netamente utilitario o sea, bio-económico. Luego debe justificarse si para resolver un problema debe usarse la simulación o basta una experimentación estadística, lo que depende del problema. Para el caso del estudio de Sistemas de Producción, solo puede hacerse en esta forma y no con experimentación estadística convencional.

RENDIMIENTO ECONOMICO
(Calidad - Cantidad)

Estado fisiológico del desarrollo del cultivo

Stress hídrico

(Ea < Ep - severidad)

Sin stress hídrico

$$Ea < Ep$$

$$Ea = Ep$$

Evapotranspiración real

Evapotranspiración

Potencial

Extracción de agua por
el cultivo

Tensión de agua
en el suelo

Volumen y
densidad de
raíces

Tipo de suelo

Contenido de agua
en el suelo

Estado de desarrollo

del cultivo

Manejo

Genotipo

Diagramático, uno ejemplo del cual veremos a continuación, al investigadores encargado, con la ayuda de los especialistas, de las partes más complejas e importante de todo el proceso.

La simulación es subjetiva y se refiere por ejemplo a: Hasta que punto se puede usar los datos de rendimiento en función de la cantidad de agua aplicada en la experimentación en parcelas convencionales, para las necesidades de irrigación del colono? Qué transformaciones hay que hacer a los experimentales para que realmente reflejen la situación del colono? ¿Cómo se usa la simulación para estudiar el comportamiento del sistema?

1. se le entregan las condiciones iniciales
2. se le entregan las condiciones que van variando en el tiempo
3. de esta forma se realiza una experimentación con el modelo del sistema. Por ejemplo, a un modelo del sistema suelo-agua-planta-atmósfera, que se desarrolló en Chile, y cuyos resultados presentaré luego, se le entrega el contenido inicial de agua de las estratas del perfil de suelo y las variaciones de clima y el manejo de la irrigación, siendo los tratamientos por ejemplo intervalos de irrigación, o diferente láminas de agua y los objetivos que se persiguen son:

1. comparar alternativas (tratamientos)
2. estudiar la respuesta del sistema frente a cambios en un solo componente (funciones de producción).
3. Predecir la respuesta del sistema frente a cambios en combinaciones de componentes (superficies de respuesta).
4. estimar la combinación de componentes requerida para obtener respuestas óptimas (optimización del sistema).

El modelo diagramático del sistema es conforme anexo.

No hay que olvidar que para llegar a estos resultados solo se le entrega al modelo el contenido inicial de agua del suelo, el número de plantas por hectárea, los días en que se riega y las características del clima, que pueden ser simulados.

Como el modelo "trabaja" bien, esto es; como las predicciones obtenidas son similares con los resultados de la experimentación en el campo, si se cambian los regímenes de riego o las características del suelo o clima, puede predecirse la respuesta del sistema en un rango amplio de condiciones.

Volviendo al estudio del sistema de producción a través de la simulación, los resultados que pueden esperarse son:

RENDIMIENTO ECONOMICO
(Calidad - Cantidad)

Estado fisiológico del desarrollo del cultivo

Stress hídrico

(Extracción < evaporación)

Sin stress hídrico

$$E_a < E_p$$

$$E_a = E_p$$

Evapotranspiración real

Evapotranspiración

Potencial

Extracción de agua por el cultivo

Tensión de agua en el suelo

Volumen y densidad de raíces

Tipo de suelo

Contenido de agua en el suelo

Estado de desarrollo del cultivo

Manejo

Genotipo

de la rentabilidad en el tiempo, con la contribución relativa de los parámetros de costo (insumos) y de entradas (productos) al uso de los recursos productivos en el tiempo: suelo-obra-capital.

Trabajo (entradas y gastos).

Enfoque en el aprovechamiento de los recursos.

Requisitos mínimos para enfocar el trabajo de Análisis de Sistemas:

Equipo Humano

Analizador agronómico con conceptos de sistemas (coordinador)

Analista de sistemas

Apoyo de los investigadores especialistas con sus técnicas específicas de trabajo.

Equipo técnico

Hardware; un terminal de computación o un minicomputador

Software: programas de computación que implementen los modelos.

Recursos económicos

Tiempo de computación

Tranquilidad para el coordinador y el analista de sistemas.

ANEXO Nº 6

ANALISIS CUANTITATIVO DE PESQUISAS EN IRRIGACION

CONFECCION DE CURVAS DE HUMEDAD, DETERMINACION DE DIAS DE STRESS, ESTIMACION DEL USO - CONSUMO Y DE COEFICIENTES DE EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO, PARA EL ANALISIS CUANTITATIVO DE PESQUISA EN IRRIGACION.

Dr. Luis A. Gurovich

Consultor en Manejo de Suelos y Agua

IICA-EMBRAPA/CPATSA.

1979

DE CURVAS DE HUMEDAD, DETERMINACION DE DIAS DE STRESS, ESTIMACION DEL Y DE COEFICIENTES DE EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO PARA EL ANALI- TIVO DE PESQUISAS EN IRRIGACION.

Dr. Luis A. Gurovich

Consultor en Manejo de Suelos y Agua

IICA-EMBRAPA/CPATSA.

1979.

INTRODUCCION

Cuando se conoce la evapotranspiración real (E_{Tr}) de un tratamiento de irrigación, entre dos riegos consecutivos y la lámina de agua aplicada, por medio del muestreo de suelos antes y después del riego, es posible dibujar las curvas de humedad del suelo en el tiempo, obteniéndose así una visión de la situación de almacenamiento y consumo de agua, a medida que el cultivo se desarrolla y produce rendimiento.

Asimismo, cuando se conocen las curvas características de retención de agua por el suelo (relación $T = f(\theta)$), es posible traducir la información anterior a curvas de tensión promedio ponderada en el tiempo, lo que es un índice de gran importancia para determinar situaciones de stress relativo durante el periodo de cultivo.

Si existe un índice de stress del cultivo, ya sea en base a contenido de agua de suelo, o de tensión a una cierta profundidad en el perfil, establecido en experimentos anteriores, pueden definirse, con ayuda de las curvas de humedad, los días de stress a que estuvo sometido el cultivo, o sea los días en que el contenido total de agua en el suelo, o el potencial promedio ponderada, se encuentran bajo el índice de stress. Los días de stress representan una información muy valiosa para analizar el efecto de diversos tratamientos de irrigación, ya que permiten relacionar el rendimiento final con etapas de déficit hídrico a lo largo de la temporada de cultivo, establecidas así en forma cuantitativa en el tiempo.

Las curvas de humedad permiten, al mismo tiempo, visualizar y calcular la evapotranspiración real (uso-consumo) total y parcial de cada tratamiento de irrigación y comparar estos valores entre sí, a lo largo del periodo de cultivo, señalándose los excesos de agua, por sobre la capacidad de almacenamiento del suelo, ya sean intencionales (con el objeto de producir un lavado de sales) o resultante de un manejo poco adecuado del experimento.

A partir de la información de ET real de cada tratamiento y de valores de ET potencial, obtenidos de Tablas de datos climáticos, o estimados en relación al mejor tratamiento, pueden definirse los coeficientes de evapotranspiración del cultivo K_c en cada etapa de desarrollo y producción,

METODOLOGIA

2.1 Curvas de humedad de cada tratamiento.

A partir de muestreo de suelos, se determina la carga de agua almacenada en el perfil del suelo (h).

$$h = \sum_{i=1}^n w_i \cdot D_{Ai} \cdot \bar{H}_i \quad \text{Ecuación 1}$$

En que: w_i = contenido gravimétrico de agua de cada estrata (fracción decimal)

D_{Ai} = densidad aparente de cada estrata (gr/cm³)

$\bar{H}_i$ = profundidad de cada estrata H_i ponderada de acuerdo al contenido relativo de raíces.
(cm)

$\bar{H}_i$ = $H_i \times \%$ del total de raíces Ecuación 2

Ejemplo:

En un suelo con las siguientes características

Estrata	Grosor (cm)	Densidad aparente (gr./cm ³)
1	0 - 15	1.25
2	15 - 35	1.35
3	35 - 65	1.50

Hay en un momento determinado una distribución de raíces

Estrata	% de raíces del total
---------	-----------------------

1	40%
2	50%
3	10%

Si inmediatamente antes de la irrigación el contenido gravimétrico de agua es

Estrata	W %
1	8
2	12
3	15

La carga de agua almacenada es

$$h = (0.08 \times 1.25 \times (15 \times 0.4)) + (0.12 \times 1.35 \times (20 \times 0.5)) + (0.15 \times 1.50 \times (30 \times 0.1)) =$$

$$h = 2.895 \text{ cm.}$$

Si después de la irrigación el contenido gravimétrico de agua es

Estrata	W %
1	15

La carga de agua efectiva almacenada es

$$h = (0.15 \times 1.25 \times (15 \times 0.4)) + (0.19 \times 1.35 \times (20 \times 0.5)) + (0.15 \times 1.50 \times (30 \times 0.1)) =$$

$$h = 4.455 \text{ cm.}$$

y la carga de agua efectivamente aplicada es

$$h \text{ aplicada} = 4.455 - 2.895 = 1.47 \text{ cm}$$

En esta forma se procede antes y después de cada irrigación graficándose la curva de humedad, como aparece esquematizada en la Figura 1. Aquí se incluye además el agua almacenada en el perfil del suelo correspondiente a capacidad de campo y punto de marchitez permanente. En la figura 1, la línea gruesa representa la carga de agua almacenada por el suelo con cada irrigación y la línea fina, la carga de agua evapotranspirada realmente por el cultivo. Esta línea comienza desde el equivalente de capacidad de campo, si el suelo tiene un drenaje adecuado, ya el exceso de agua percola relativamente rápido bajo la zona radicular; el exceso está representado por el trazo AB sobre la línea gruesa.

Si el drenaje no es eficiente, puede haber una contribución de las estratas inferiores hacia las superiores, y en este caso la carga de agua almacenada en las estratas inferiores a la carga calculada en la zona radicular, de acuerdo a la ecuación 3.

$$h = \sum_{i=1}^n W_i \cdot D_{Ai} \cdot \bar{H}_i + W_d \cdot D_{Ad} \cdot H_d \quad \text{Ecuación 3}$$

W_d e D_{Ad} y H_d corresponden a la estrata bajo la zona radicular, que contribuye con agua para el cultivo.

2.2 Curvas de potencial promedio ponderado para cada tratamiento

De manera similar a las curvas de humedad, puede ponderarse el potencial del agua en el suelo, que corresponde a un cierto contenido de agua (Ecuación 4).

$$\bar{T}_i = T_i * (\bar{H}_i / H_t) \quad \text{Ecuación 4.}$$

T_i = potencial del agua en el suelo que corresponde a un cierto contenido de agua (bares)

$\bar{H}_i$ = profundidad de la estrata, ponderada de acuerdo a la distribución radicular

H_t = profundidad total del perfil

En el ejemplo anterior, supongase las siguientes funciones de retención de agua:

Estrata	Función de retención
1	$T_1 = - \exp (12.36 - 4.76 \ln \theta)$
2	$T_2 = - \exp (21.70 - 7.40 \ln \theta)$
3	$T_3 = - \exp (15.17 - 4.47 \ln \theta)$

$\theta = W_i \times D_{Ai}$ = Contenido volumetrico de agua (%)

2.- METEOROLOGIA

2.1 Curvas de humedad de cada tratamiento.

A partir de muestreo de suelos, se determina la carga de agua almacenada en el perfil del suelo (h).

$$h = \sum_{i=1}^n w_i \cdot D_{Ai} \cdot \bar{H}_i \quad \text{Ecuación 1}$$

En que: w_i = contenido gravimétrico de agua de cada estrata (fracción decimal)

D_{Ai} = densidad aparente de cada estrata (gr/cm³)

$\bar{H}_i$ = profundidad de cada estrata H_i ponderada de acuerdo al contenido relativo de raíces.
(cm)

$\bar{H}_i$ = $H_i \times \%$ del total de raíces Ecuación 2

Ejemplo:

En un suelo con las siguientes características

Estrata	Grosor (cm)	Densidad aparente (gr./cm ³)
1	0 - 15	1.25
2	15 - 35	1.35
3	35 - 65	1.50

Hay en un momento determinado una distribución de raíces

Estrata	% de raíces del total
1	40%
2	50%
3	10%

Si inmediatamente antes de la irrigación el contenido gravimétrico de agua es

Estrata	W %
1	8
2	12
3	15

La carga de agua almacenada es

$$h = (0.08 \times 1.25 \times (15 \times 0.4)) + (0.12 \times 1.35 \times (20 \times 0.5)) + (0.15 \times 1.50 \times (30 \times 0.1)) =$$

$$h = 2.895 \text{ cm.}$$

Si después de la irrigación el contenido gravimétrico de agua es

Estrata	W %
1	15
2	10

La carga de agua efectiva almacenada es

$$h = (0.15 \times 1.25 \times (15 \times 0.4)) + (0.19 \times 1.35 \times (20 \times 0.5)) + (0.15 \times 1.50 \times (30 \times 0.1)) =$$

$$h = 4.455 \text{ cm.}$$

y la carga de agua efectivamente aplicada es

$$h \text{ aplicada} = 4.455 - 2.895 = 1.47 \text{ cm}$$

En esta forma se procede antes y después de cada irrigación graficándose la curva de humedad, como aparece esquematizada en la Figura 1. Aquí se incluye además el agua almacenada en el perfil del suelo correspondiente a capacidad de campo y punto de marchitez permanente. En la figura 1, la línea gruesa representa la carga de agua almacenada por el suelo con cada irrigación y la línea fina, la carga de agua evapotranspirada realmente por el cultivo. Esta línea comienza desde el equivalente de capacidad de campo, si el suelo tiene un drenaje adecuado, ya el exceso de agua percola relativamente rápido bajo la zona radicular; el exceso está representado por el trazo AB sobre la línea gruesa.

Si el drenaje no es eficiente, puede haber una contribución de las estratas inferiores hacia las superiores, y en este caso la carga de agua almacenada en las estratas inferiores a la carga calculada en la zona radicular, de acuerdo a la ecuación 3.

$$h = \sum_{i=1}^n W_i \cdot DA_i \cdot \bar{H}_i + W_d \cdot DA_d \cdot H_d \quad \text{Ecuación 3}$$

W_d e DA_d y H_d corresponden a la estrata bajo la zona radicular, que contribuye con agua para el cultivo.

2.2 Curvas de potencial promedio ponderado para cada tratamiento

De manera similar a las curvas de humedad, puede ponderarse el potencial del agua en el suelo, que corresponde a un cierto contenido de agua (Ecuación 4).

$$T_i = T_i + (\bar{H}_i / H_t) \quad \text{Ecuación 4.}$$

T_i = potencial del agua en el suelo que corresponde a un cierto contenido de agua (bares)

$\bar{H}_i$ = profundidad de la estrata, ponderada de acuerdo a la distribución radicular

H_t = profundidad total del perfil

En el ejemplo anterior, supongase las siguientes funciones de retención de agua:

Estrata	Función de retención
1	$T_1 = - \exp (12.36 - 4.76 \ln \theta)$
2	$T_2 = - \exp (21.70 - 7.40 \ln \theta)$
3	$T_3 = - \exp (15.17 - 4.17 \ln \theta)$

Para el caso antes de la irrigación.

$$T_1 = - \exp (12.36 - 4.76 \text{ en } (8 \times 1.25)) = - 3.99 \text{ bares}$$

$$T_2 = - \exp (21.70 - 7.40 \text{ en } (12 \times 1.35)) = - 2.97 \text{ bares}$$

$$T_3 = - \exp (15.27 - 4.47 \text{ en } (15 \times 1.50)) = - 3.49 \text{ bares}$$

$$\bar{T} = \frac{(-3.99 - 15 \times 0.4)}{65} + \frac{(-2.97 - 20.05)}{65} + \frac{(-3.49 - 30.01)}{65} = 0.986 \text{ bares.}$$

Para el caso después del riego.

$$T_1 = - \exp (12.36 - 4.766 \text{ en } (15 \times 1.25)) = - 0.199 \text{ bares}$$

$$T_2 = - \exp (21.70 - 7.40 \text{ en } (19 \times 1.35)) = - 0.099 \text{ bares}$$

$$T_3 = - \exp (15.17 - 4.47 \text{ en } (17 \times 1.50)) = - 1.99 \text{ bares}$$

$$\bar{T} = \frac{(-0.199 - 15 \times 0.4)}{65} + \frac{(-0.099 - 20 \times 0.5)}{65} + \frac{(-1.99 - 30 \times 0.1)}{65} = - 0.125 \text{ bares}$$

La curva de potencial promedio ponderado se grafica de acuerdo a la Figura 2. Las mismas consideraciones sobre el efecto del drenaje que se mencionan para la curva de humedad, tienen aplicación para este caso.

2.3 Dias de Stress

En la Figura 3 se presenta una curva de humedad típica de un cultivo de maíz irrigado en forma deficitaria, al comienzo de la temporada de cultivo. Los dias de stress estan marcados con linea gruesa y corresponden a los siguientes periodos:

Dias desde siembra	Dias de stress
49 - 63	13
66 - 79	14
86 - 87	1
103 - 105	2
114 - 115	1
TOTAL	31 dias

El criterio de irrigación representado por la recta horizontal con la flecha STRESS corresponde a la carga de agua almacenada en el perfil cuando un tensiómetro colocado a 30 cm de profundidad tiene una lectura de - 0,6 bares. Evidentemente que puede usarse cualquier criterio de stress, evaluando la carga de agua almacenada en el suelo en la forma señalada anteriormente.

2.4 Estimación del uso-consumo del cultivo, para diferentes regimens de irrigación.

El uso consumo del cultivo puede evaluarse a partir de la curva de humedad, al considerar los trazos que unen la carga de agua almacenada en el suelo antes de la irrigación con la horizontal correspondiente a capacidad de campo, si el drenaje es adecuado, o la horizontal que representa el almacenamiento de agua en el suelo con drenaje deficiente, tal

La suma de estos trazos corresponden al uso-consumo acumulado en el tiempo y cada trazo individual, al uso-consumo entre cada irrigación consecutiva. En este último valor, dividido por el intervalo de irrigación, se evalúa la tasa de evapotranspiración del cultivo a lo largo del periodo de crecimiento y producción.

2.5 Coeficientes de evapotranspiración del cultivo, para diferentes regímenes de irrigación.

Quando se dispone de datos de evapotranspiración potencial para una región, provenientes de estimaciones agrometeorológicas (fórmulas empíricas) o de experiencias anteriores con el mismo cultivo, regado en condiciones óptimas en relación al suelo y a la demanda evapotranspirativa de la atmósfera, puede evaluarse los coeficientes de evapotranspiración del cultivo para cada etapa del crecimiento y para cada tratamiento de irrigación, de acuerdo a la relación:

$$K_c = \frac{\text{ET real}}{\text{ET potencial}}$$

La comparación de los valores de K_c entre tratamientos es una herramienta muy adecuada para explicarse posibles diferencias en rendimiento.

FIGURA N° 1

ESQUEMA DE UNA CURVA DE
HUMEDAD

LAMINA DE
AGUA ACUMULADA
EN EL PERFIL
(cm)

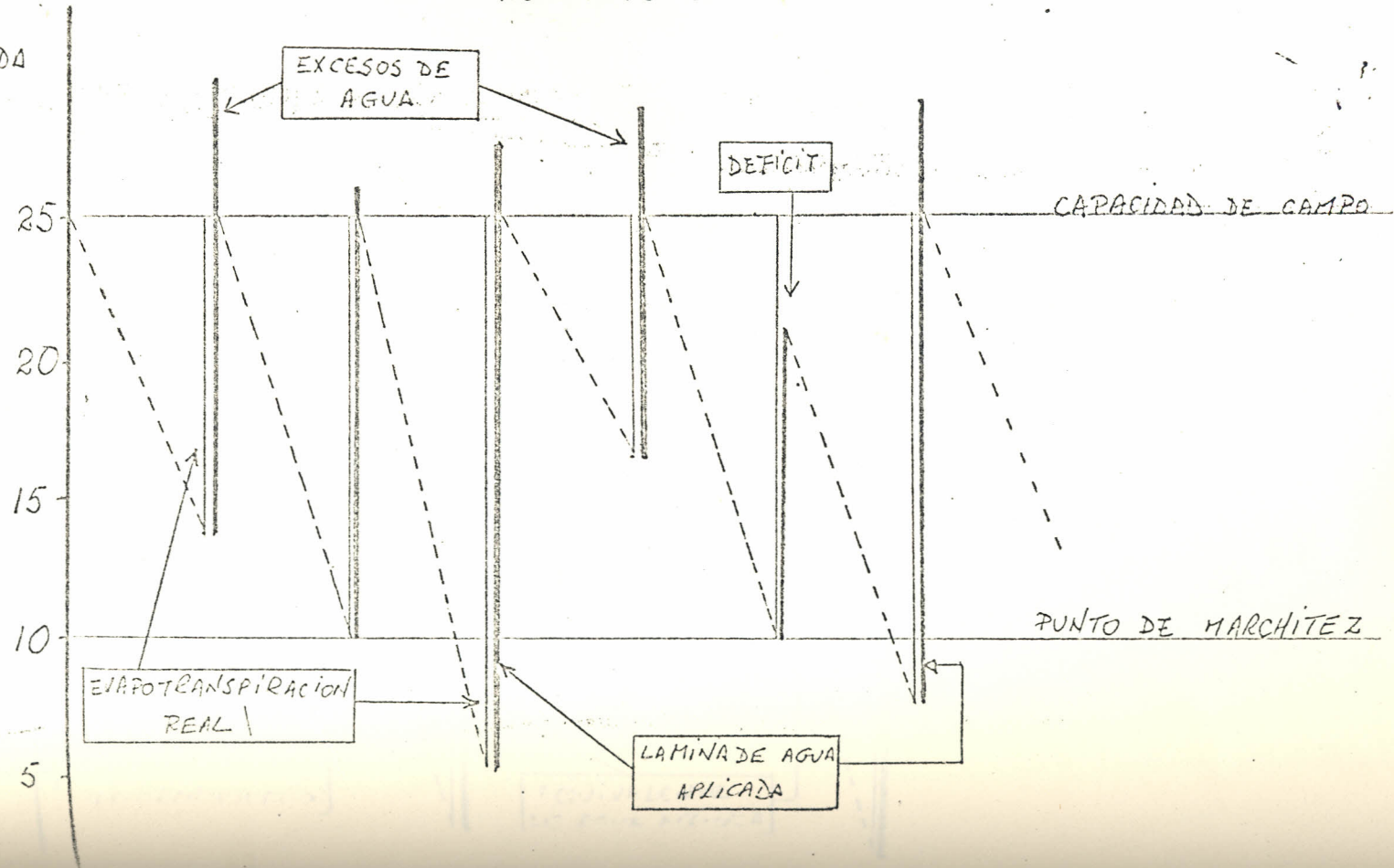
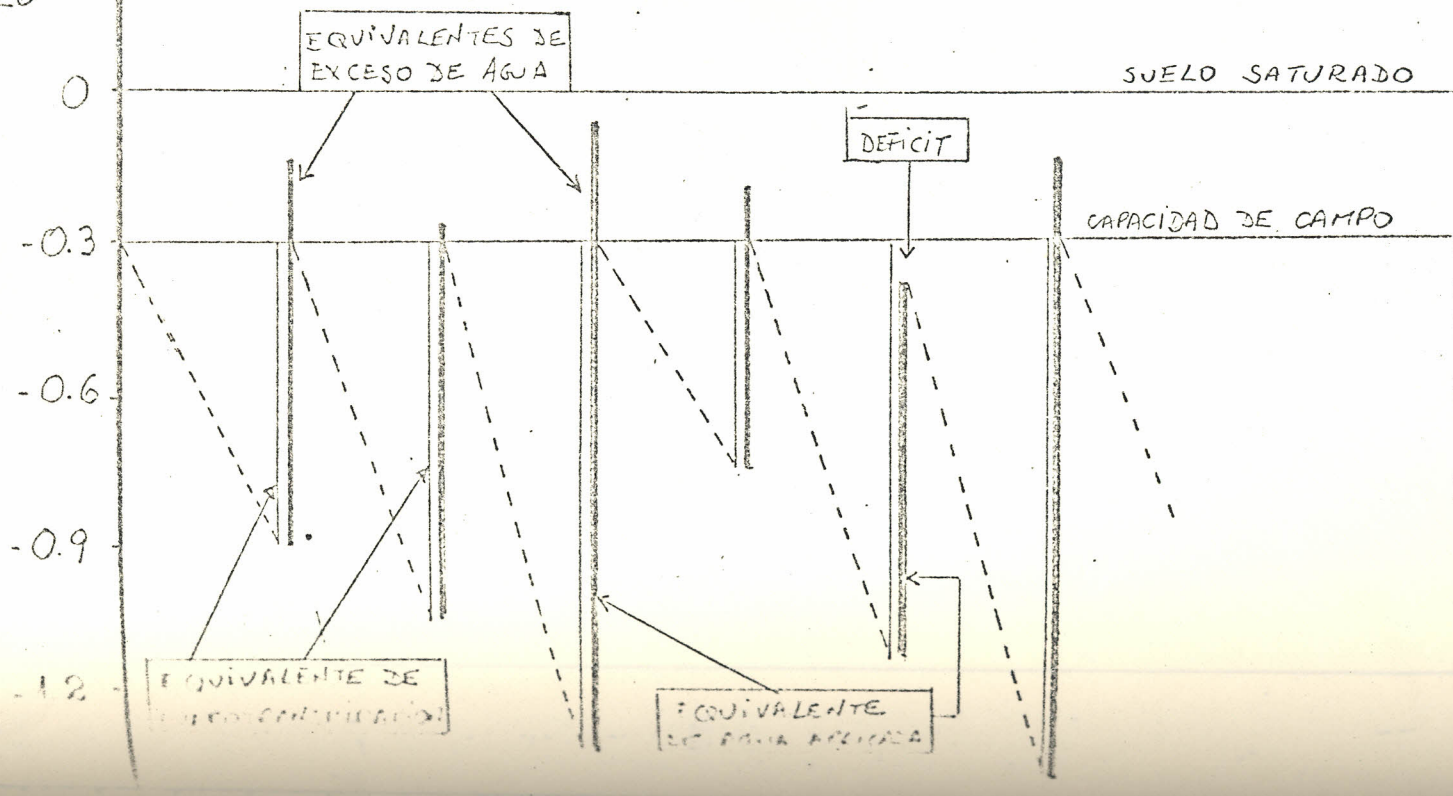


FIGURA Nº 2
ESQUEMA DE CURVA DE
POTENCIAL PONDERADO

POTENCIAL PONDE-
RADO DE AGUA
EN EL SUELO
(BARES)



Contenido de agua del perfil (h) (cm)

Eta : Evapotranspiración
Q : Lámina de agua

↓ Stress

DÍAS DE STRESS

Eta

Q

P

30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150

ANEXO Nº 7

USO DE TENSIOMETROS COMO METODO DE DETERMINACION DE FRECUENCIAS Y LAMINAS DE IRRIGACION.

Dr. Luis A. Gurovich
Consultor IICA - EMBRAPA/CPATSA
1979

DE TENSIONETROS COMO METODO DE DETERMINACION DE FRECUENCIAS LAMINAS DE IRRIGACION.

Dr. Luis A. Gurovich
Consultor IICA - EMBRAPA/CPATSA
1979

Medición del potencial del agua en el suelo

La medición del contenido de agua del suelo, o humedad del suelo, aunque es escencial en muchas investigaciones de Física de Suelos y de Ingeniería, no es suficiente para dar una descripción del estado del agua del suelo; para obtener una descripción de este tipo es necesaria la evaluación del estado de energía del agua del suelo (o potencial de agua del suelo, o succión). En general ambas propiedades, humedad del suelo y potencial, deben ser medidas directamente y la expresión de una en otra, en base a curvas de calibración de muestras de suelo es poco confiable.

El potencial total del agua del suelo se entiende en general como la suma del potencial matricial y del potencial osmótico y es un índice de gran utilidad para caracterizar el estado energético del agua del suelo con respecto a la absorción de agua por las plantas. La suma de las cargas (o potenciales) matriciales e hidrostáticas se conoce con el nombre de carga hidráulica o potencial hidráulico, y es de utilidad para evaluar la dirección y la intensidad de las fuerzas que causan el movimiento del agua en el perfil del suelo.

Existen métodos para determinar tanto el potencial total como el potencial matricial, tanto en forma conjunta como separados. Para medir en condiciones de campo el potencial matricial, se utilizan tensiómetros y para la medición del potencial total se hace uso de psicrómetros-termocuplas, que determinan la presión de vapor del agua del suelo.

En condiciones de equilibrio, el potencial del agua del suelo es igual al potencial del vapor de agua en la atmósfera. Se existe un equilibrio térmico y se desprecia el efecto gravitacional, el potencial del vapor es igual a la suma de los potenciales matricial y osmótico, ya que aire actúa como una membrana

permeable que permite solamente el paso de las moléculas de agua. A temperatura ambiente, la humedad relativa del aire se relaciona con el potencial de la siguiente forma:

$$pF = 6.5 + \log (2 - \log H.R.)$$

Donde $pF = \log$ (potencial osmótico + potencial matricial), cuando estos potenciales se expresan como cm de columna de agua.

H.R. = humedad relativa.

El tensiómetro tiene hoy en día una gran aceptación como instrumento práctico para las mediciones en terreno de la succión matricial, la carga hidráulica y las gradientes hidráulicas; las principales partes de un tensiómetro se esquematizan en la figura 3.5.

Figura 1

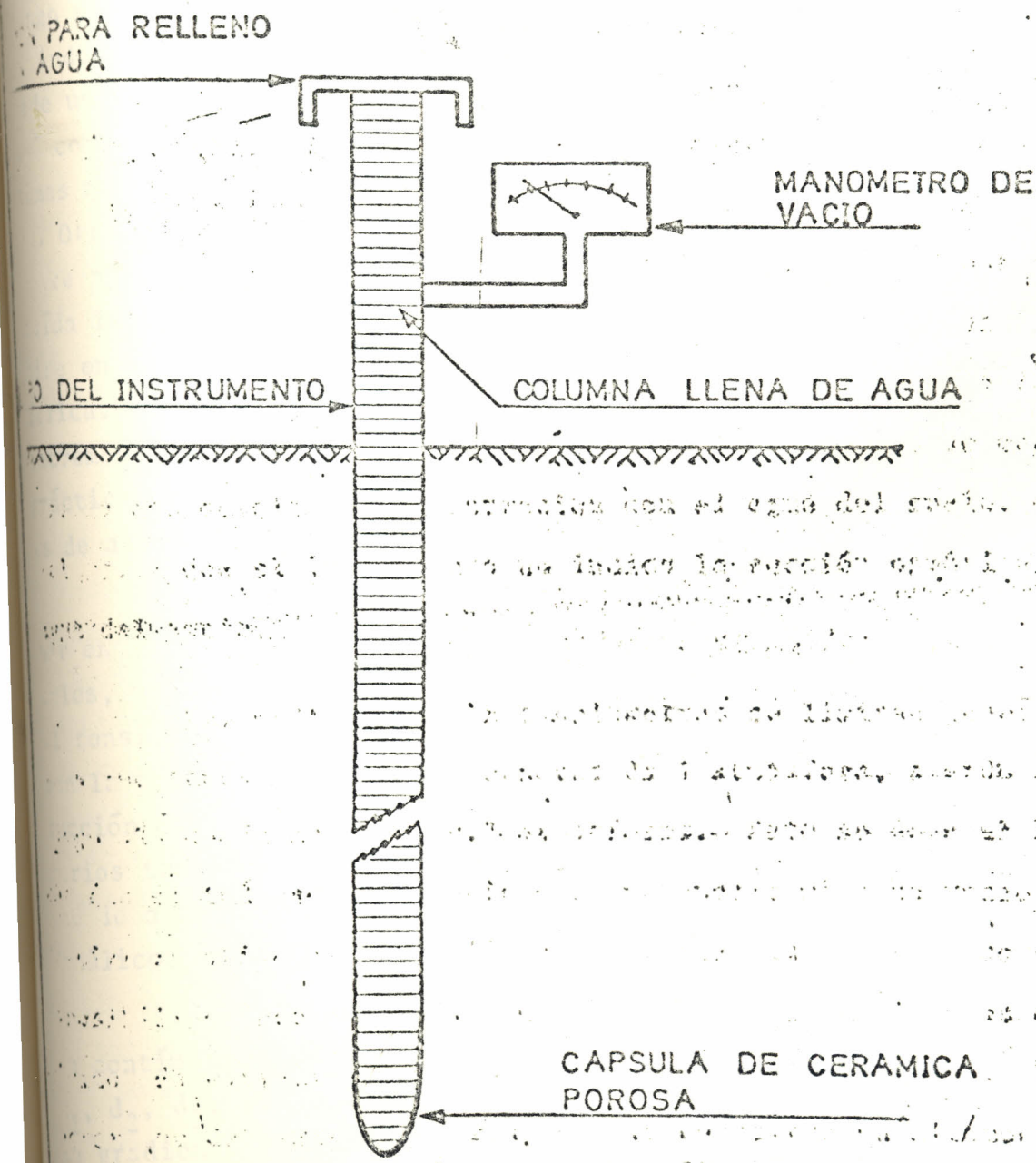
Ilustración esquemática de las partes esenciales de un tensiómetro.

Insertar Figura.

El tensiómetro consiste en una cápsula porosa de material cerámico, conectado mediante un tubo a un manómetro, llenándose todas las partes con agua. Cuando la cápsula es colocada en el suelo donde la medición de succión se va a realizar, la masa de agua dentro de la cápsula entra en contacto hidráulico y tiende a equilibrarse con el agua del suelo a través de los poros de la pared de cerámica. Recién colocado el tensiómetro en el suelo el agua contenida en el interior se encuentra a presión atmosférica. Como el agua del suelo está generalmente sometida a una presión subatmosférica, se ejerce una succión que elimina cierta cantidad de agua del tensiómetro rígido, impermeable al aire, causando una caída en la presión hidrostática. Este cambio de presión se indica en un manómetro que puede ser simplemente de agua, de mercurio, a válvula de vacío o un transductor eléctrico.

Un tensiómetro dejado en el suelo por un período prolongado tiende a seguir los cambios de succión matricial del suelo. A medida que se va eliminando el agua del suelo por evaporación, drenaje o absorción de las plantas, o que se va agregando agua al suelo, por lluvia o riego, se pueden leer en el

ILUSTRACION ESQUEMATICA DE LAS PARTES DE UN TENSIOMETRO



entre las variaciones de succión. Ya que las paredes porosas de la cápsula del tensiómetro son permeables al agua y a los gases, el agua dentro del tensiómetro se equilibra en composición y concentración con el agua del suelo, de tal forma que el instrumento indica la succión osmótica del agua del suelo.

Las mediciones con tensiómetros se limitan generalmente a succiones matriciales menores de 1 atmósfera, siendo el rango más común de 0.1 a 0.8 atmósferas. Esto se debe al hecho que el indicador de vacío o el manómetro mide un vacío o el manómetro mide un vacío parcial relativo a la presión atmosférica externa, así como a la imposibilidad que tienen las columnas de agua en sistemas macroscópicos de extraer tensiones que excedan de 1 atmósfera. Otro factor que determina este rango es la constitución altamente porosa y permeable del material cerámico de que está constituida la cápsula. En altas tensiones pueden causar la entrada de aire en la cápsula, lo que igualaría la presión interna a la atmosférica. En estas condiciones, la succión del suelo puede continuar incrementándose, aún cuando el tensiómetro no lo indique. En la práctica, el límite de utilidad de la mayoría de los tensiómetros es de alrededor de 0.8 bares como máximo.

Los tensiómetros han sido de utilidad para determinar en forma práctica cuando se debe regar cultivos y huertos frutales, así como plantas en maceteros. Una práctica común es colocar el tensiómetro en una o más profundidades del suelo, que representen la zona radicular, regando cuando el tensiómetro indica que la succión matricial ha alcanzado algún valor determinado. El uso de varios tensiómetros a diferentes profundidades puede indicar la cantidad de agua necesaria para el riego, así como los gradientes hidráulicos en el perfil del suelo.

Si $\phi_1, \phi_2, \phi_3 \dots \phi_n$ son las succiones matriciales en centímetros de columna de agua (milibares) a las profundidades $d_1, d_2, d_3, \dots d_n$, medidas en cm desde la superficie del suelo, el gradiente hidráulico promedio i entre las profundidades d_n y d_{n+1} es:

$$i = (\phi_{n+1} + d_{n+1}) - (\phi + d_n) / (d_{n+1} - d_n)$$

plástica, sólo alcanza a medir hasta 0.8 bar. Aunque el suelo se está secando, el manómetro no dará una lectura más alta. A esta presión (i.e., 0.8 bar) aparece una burbuja en la parte superior del manómetro y va creciendo a medida que el suelo se reseca.

En intervalo de tensiones dentro del cual un tensiómetro funciona satisfactoriamente es adecuado para casi todos los cultivos. Dentro de su intervalo de sensibilidad, el tensiómetro es tan preciso que cualquier otro medio utilizado para determinar la tensión del agua del suelo. Asimismo, el agua que el suelo contiene, antes del riego, en la zona radicular efectiva, determina el volumen que hay que aplicar. Por consiguiente, los tensiómetros, instalados a una cierta profundidad (o profundidades), pueden emplearse para indicar qué volumen se debe aplicar. Un descenso en la lectura del instrumento significa que el agua de riego ha alcanzado la profundidad a que se haya la cápsula de cerámica. El cierre del agua en este momento garantiza el riego hasta una profundidad constante y, de este modo, la operación llena las necesidades del cultivo, el suelo y el clima.

Si se colocan tensiómetros a unas cuantas profundidades, es posible regular la aplicación del agua con arreglo al estado de humedad que existía a diferentes profundidades del suelo. Pueden aplicarse, a menudo, pequeños volúmenes para mojar sólo la zona superior; los volúmenes mayores pueden aplicarse con menor frecuencia para mojar las estratas más profundas, a fin de lixiviar sales del terreno o para otros fines. La posibilidad de regular el volumen de la aplicación de agua, controlando la profundidad del riego, ha conducido al desarrollo del riego automático, que se basa en la condición de humedad del suelo, y no es la aplicación de cantidades arbitrarias basadas en un programa prefijado.

El número de tensiómetros requeridos por cada parcela depende del cultivo, el tipo de suelo y el método de riego. Para un cultivo hay que emplear por lo menos un instrumento, y probablemente más de uno. Si el tipo, la estructura o la profundidad del suelo son variables, se requiere un instrumento por cada una de las variables. Asimismo, habrá que utilizar más instrumentos si varía el método de riego o el intervalo entre riegos. Tratando de ciertos cultivos, se necesitan dos tensiómetros en cada sitio.

La medición de la gradiente hidráulica es particularmente importante en la región bajo de la zona radicular, en la que la dirección y la magnitud del movimiento de agua no puede ser estimada de otra manera.

Para succiones mayores de 0.8-1.0 bares, los procedimientos de determinación directa y los principales envueltos en éste discutidos más adelante en este capítulo; sin embargo, existen métodos indirectos para determinar ϕ superiores a 1.0 atmósfera.

Debe hacerse notar en este capítulo, que en muchas oportunidades la determinación del contenido de agua del suelo es menos útil que algunas otras propiedades que dependen del contenido de agua, como es el caso de la determinación de la tensión del agua en el suelo, que es un parámetro muy relacionado con el desarrollo de las plantas y la determinación de la frecuencia de riego. Por ello, muchas veces se efectúan mediciones, en terreno o en laboratorio, de la tensión o energía de retención del agua del suelo, más que el contenido de agua que éste tenga en un momento determinado. Estas determinaciones se hacen en terreno mediante el uso de tensiómetros, cuyos componentes y principios de funcionamiento se han discutido antes.

Las mediciones tensiométricas se realizan a fin de conocer el estado energético del agua del suelo (retención de agua). Estas mediciones pueden relacionarse con la cantidad de agua disponible para la planta (Figura 4.5), pero no sirven para determinar directamente el contenido de agua.

Figura 2
Curva de calibración de un tensiómetro
Insertar Figura

La unidad métrica decimal empleada para medir la tensión del agua es el bar. Un bar es igual a 0.987 atmósfera. Los tensiómetros suelen estar calibrados en centibares; y un centibar equivale a la succión ejercida por una columna acuosa de 10 centímetros de alto. Una lectura manométrica de "cero" significa que existe una condición de saturación en el suelo. La tensión máxima que el instrumento puede medir es teóricamente 1.1 bar, pero en

FIGURA: 2

CURVA DE CALIBRACION DE UN TENSIOMETRO.

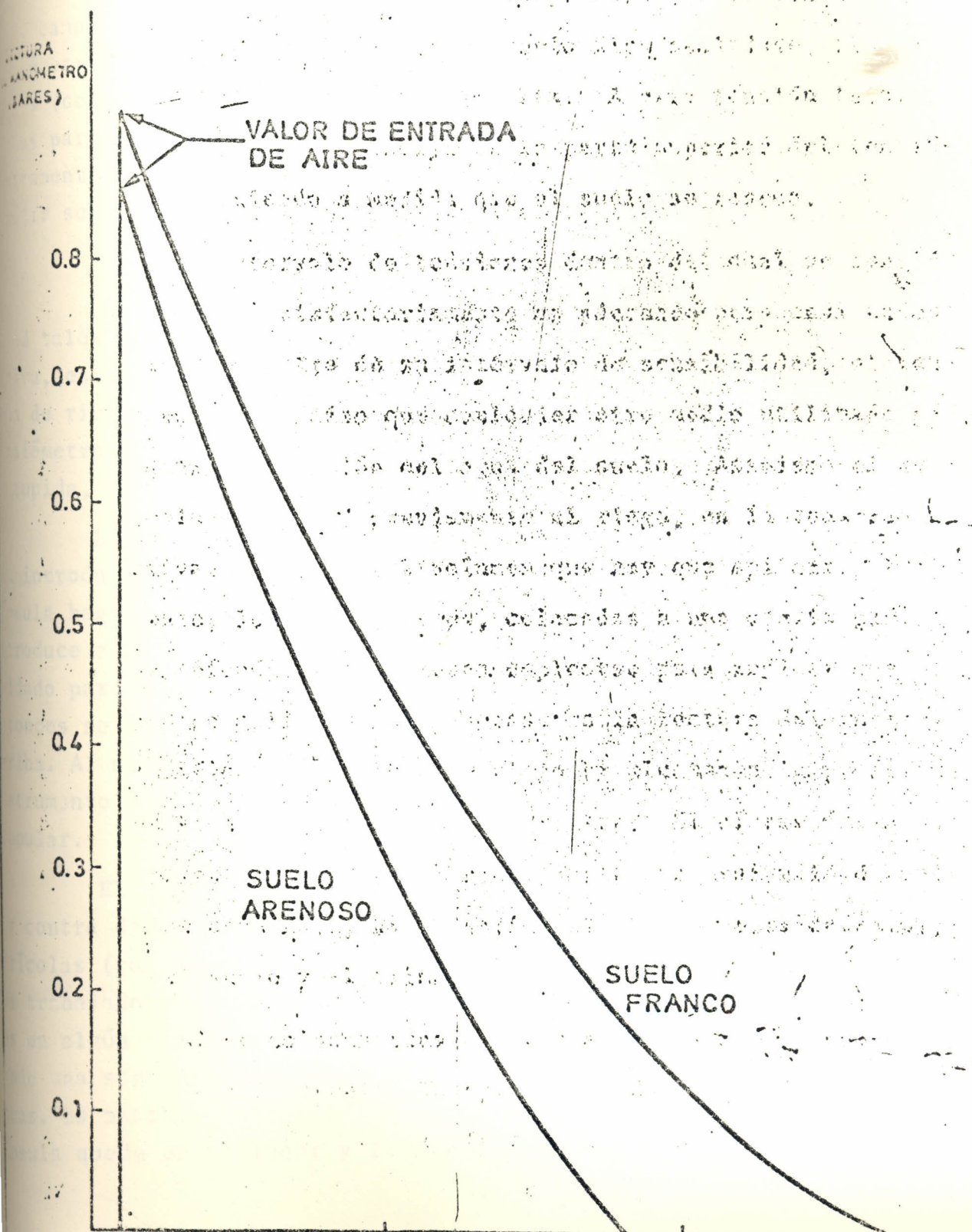
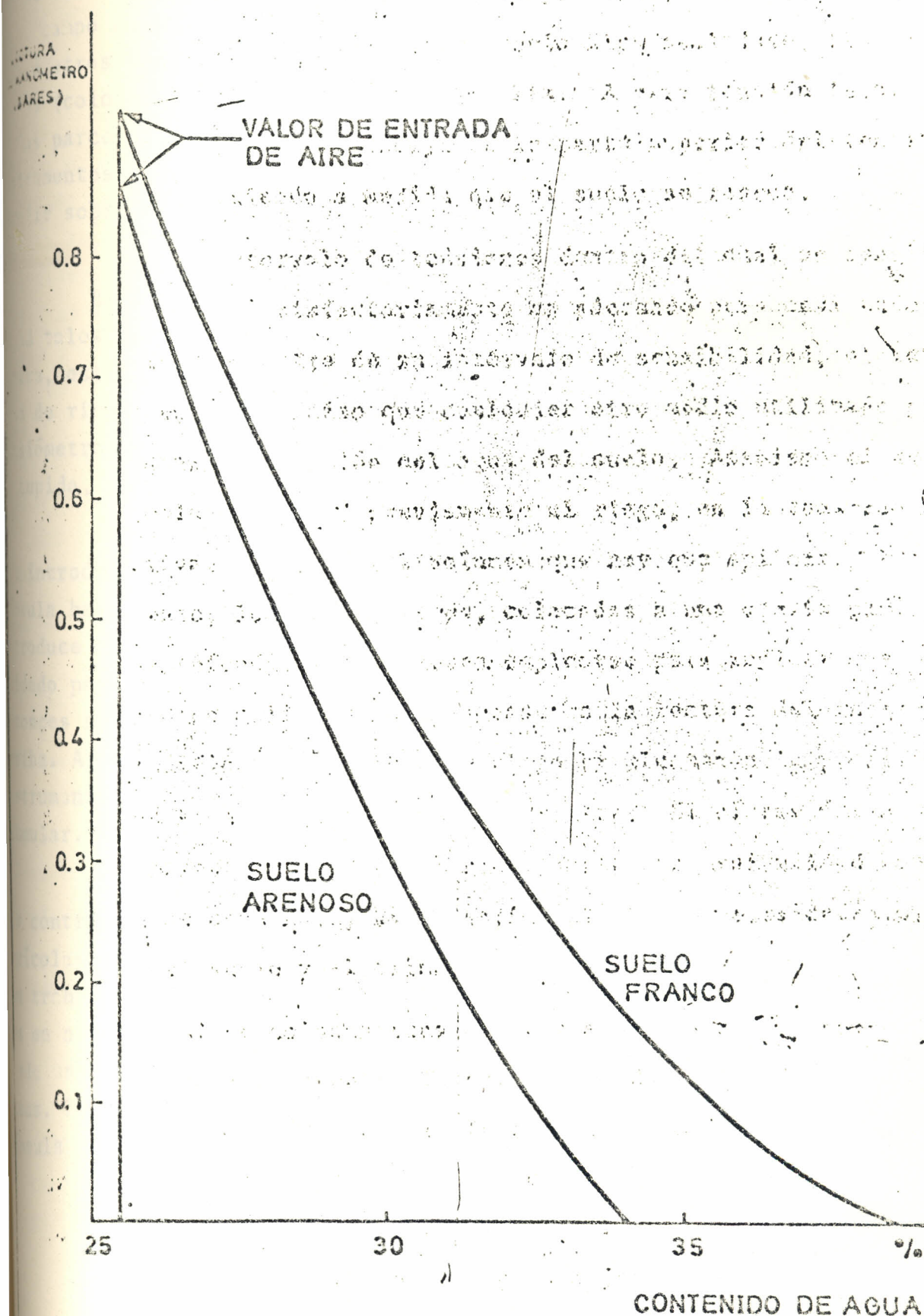


FIGURA: 2

CURVA DE CALIBRACION DE UN TENSIOMETRO.



terminado por la profundidad de la zona radicular. En caso de que el desarrollo radicular sólo llegue hasta 40 ó 50 cm. de profundidad, es suficiente con un solo instrumento. Para cultivar perennos, o anuales profundamente arraigadas, dos tensiómetros son preferibles.

De ordinario, en campos de por lo menos 10 hectareas, el valor medio para calcular la cantidad necesaria de riego. Si el campo es uniforme y si la red de riego es permanente, cuatro tensiómetros bastan para cultivo de campo, y seis pares de instrumentos (colocados a dos profundidades) en huertos. En el caso de pequeñas parcelas, es conveniente instalar inicialmente unos cuantos instrumentos y, a la luz de la información y experiencias recabadas, decidir sobre el mejor número que será representativo de la parcela.

El tensiómetro debe colocarse en un sitio y a una profundidad tales que la cápsula porosa quede dentro de la zona radicular. La cápsula, esté en contacto íntimo con el suelo y sea mojada por el agua de riego. En siembras que forman hilera se debe colocar los tensiómetros dentro de la hilera y entre dos plantas. Si la siembra es tupida, no tiene importancia el punto exacto de colocación.

La instalación correcta del tensiómetro exige que éste sea introducido en un barreno hasta una profundidad en que la cápsula haga un buen contacto con suelo no perturbado. El barreno se produce a la profundidad que se desee y la broca debe sacarse con cuidado para que la perforación permanezca despejada y redonda. Entonces se introduce el tensiómetro, dándole ligeros golpes desde arriba. Al nivel del suelo, se apila un poco de tierra alrededor del instrumento para que no quede ningún hueco donde el agua se puede acumular.

El tensiómetro delicado, de modo que se le debe resguardar contra daños mecánicos, que pueden ser causados por equipos agrícolas (como segadoras, cultivadoras, etc.) o por el tránsito de los trabajadores. Hay que tener cuidado de no situar los instrumentos en algún camino o vereda. Si se les ubica entre dos árboles, donde una segadora podría alcanzarlos, deben estar rodeados de estacas. Es posible instalar los instrumentos en ángulo, para que la cápsula quede en un lugar y la parte superior del tensiómetro en

...o mejor resguardado. Hay tensiómetros especiales en que es posible separar la cápsula del tubo de agua (junto con el manómetro), a fin de que se pueda colocar el tubo en un lugar resguardado.

El mejor momento para observar el tensiómetro es en la mañana. A esa hora, es insignificante el movimiento del agua en el suelo y a través de las plantas; prácticamente existe un estado de equilibrio. Las observaciones deben hacerse siempre a la misma hora. La frecuencia de las observaciones - lo mismo que la frecuencia de riego - depende del cultivo, suelo, clima y método de riego. Cuanto mayor sea el intervalo entre dos riegos consecutivos, tanto menos frecuentemente debe hacerse las observaciones. En el caso de cultivos sensibles y de raíces poco profundas, o de cultivos regados por goteo, se recomienda observar los tensiómetros diariamente y regar a bajas tensiones. La utilización de tensiómetros es más eficiente cuando las lecturas se transportan diariamente en papel quadriculado. La curva así obtenida describe la tendencia del uso consuntivo (uso consumo) del agua por el cultivo, y de esto se puede concluir cuales son los factores que afectan el uso consumo; (como el clima, la floración, cosecha, turgencia foliar, etc.). Las gráficas también permiten fijar de antemano la fecha del siguiente riego, así como la cantidad necesaria de agua que habrá que aplicar. Figura 4.6.

Figura 3

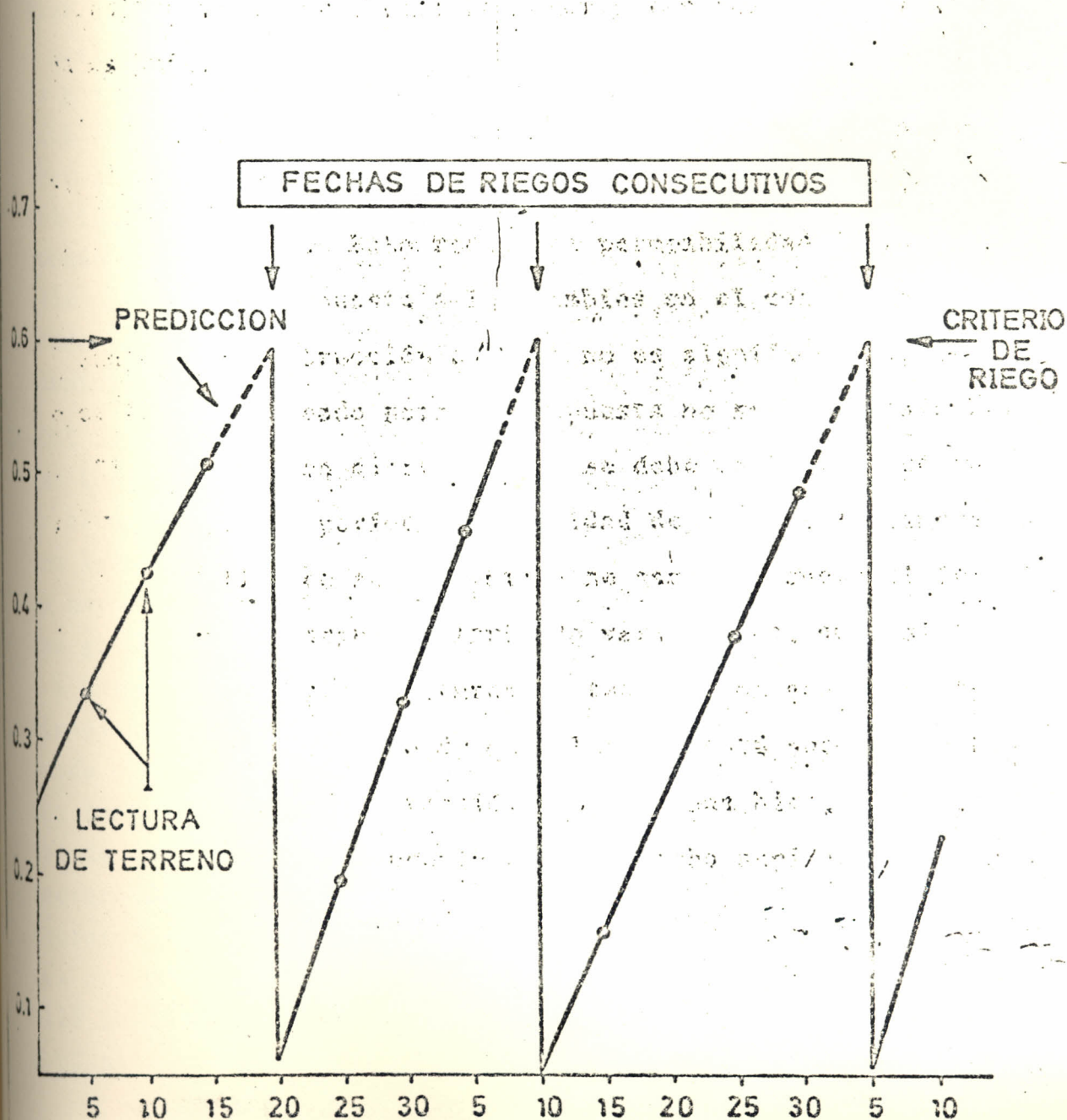
Gráficas de lecturas de tensiómetros en un campo durante la temporada de riego.

De vez en cuando puede ser necesario agregar agua al tensiómetro, sobre todo si se trata de instrumentos que indican altas tensiones. A estas tensiones, un poco de aire penetra por los poros de la cápsula de cerámica, pasa al tubo del agua y se acumula bajo el tapón de plástico. El momento más apropiado para agregar agua es después de un riego, cuando el tensiómetro ha recuperado la mayor parte del agua y la tensión es baja.

Los poros de la cápsula se van tapando poco a poco, debido a la precipitación de sales solubles presentes en la solución del suelo. Esto reduce la permeabilidad de la cápsula y retarda su respuesta a los cambios en el contenido de agua del suelo. La obstrucción parcial no es significativa, siempre que el

FIGURA: 3

GRAFICA DE LECTURAS DE UN TENSIO - METRO A 30 cm. DURANTE LA TEMPORADA DE RIEGO.



El tiempo empleado para la respuesta no sea demasiado largo. Sin embargo, en ciertos casos se debe cambiar la cápsula por una nueva. Su grado de utilidad depende de la manera como se use y del tipo de suelo. Si no se saca del suelo el tensiómetro, la cápsula seguirá funcionando varios años, en casi todo tipo de suelo. Si las lecturas de tensión son generalmente bajas, no obstante el hecho de que el suelo esté seco, o de haber alguna duda sobre si el tensiómetro funciona bien, se puede probar fácilmente el instrumento con una bomba aspirante.

PERGUNTAS Y RESPUESTAS ACERCA DE LOS TENSIOMETROS

Elucido y reproducido del folleto N° 2264/75 del Programa de Tensión Cooperativo de la Universidad de California, cuyo autor es A. W. Marsh).

¿CÓMO FUNCIONAN LOS TENSIOMETROS ?

El tensiómetro es un tubo cerrado lleno con agua. Una cápsula de cerámica porosa está ubicada en su parte inferior y un tapón cierra la otra punta, cerca de la cual está ubicado un manómetro para medir la presión. Se instala en el suelo con la punta de cerámica ubicada donde se desea medir el agua del suelo. El tubo usualmente es lo suficientemente largo como para que el manómetro y el tapón permanezcan sobre el suelo para su lectura posterior.

A medida que el suelo se seca, succiona o saca agua a través de la pared porosa de la cápsula de cerámica, creando un vacío parcial dentro del tensiómetro, el que se puede leer en el manómetro. Este poder del suelo (succión del suelo) para extraer agua del tensiómetro aumenta a medida que el suelo se seca más y más. Cuando el suelo se riega o se humedece por las lluvias, la succión del suelo se reduce y el agua penetra dentro del tensiómetro donde existía previamente un vacío, el que se reduce y hace que disminuya la lectura del manómetro.

¿QUE SIGNIFICAN LAS LECTURAS ?

Las lecturas muestran la humedad relativa del suelo. Una lectura alta está causada por un suelo seco (con una alta succión) y una lectura baja muestra un suelo húmedo (con baja succión).

La mayoría de los manómetros de tensiómetros están calibrados con graduaciones de 0 a 100 centibares. 100 centibares equivalen a 1 bar - es la unidad usada por los meteorólogos, que es aproximadamente igual a una atmósfera de presión. Un tensiómetro puede operar dentro de un rango de 0 a 30 centibares.

Una lectura de 0 significa que el suelo está saturado y las raíces de las plantas van a sufrir por una falta de oxígeno. Una lectura de 0 a 5 es muy húmedo para la mayoría de los cultivos. Lecturas en el rango de 10 a 25 representan las condiciones ideales de humedad y aireación. A medida que las lecturas van más allá de 25, el déficit de agua puede afectar a plantas sensibles o plantas que presenten un sistema radicular muy superficial.

La mayoría de los (plantas) cultivos con sistemas radiculares de 50 cm o más de profundidad sufrirán de una falta de agua antes que las lecturas alcancen el rango de 40 a 50. En suelos de texturas medias (suelos Franco) las plantas que posean sistemas radiculares de 75 cm o más de profundidad usualmente no sufrirán de un déficit de agua hasta que las lecturas alcancen valores de 60 - 70. En suelos de textura medias a moderadamente finas (Franco-arcillosos), las plantas con sistemas radiculares bien desarrollados y profundo, no necesitarán ser regados por varios días después de haber leído 70 cb.

Una lectura de 80, representa condiciones lo suficientemente secas de un suelo para regar bajo la mayoría de las condiciones, aún cuando la planta no muestre síntomas de stress.

Estas interpretaciones se aplican a lecturas obtenidas cerca del centro de la masa radicular principal.

SON PRECISOS LOS TENSÍOMETROS ?

Dentro del rango en que trabajan, los tensiómetros son más precisos que cualquier otro medio para evaluar la humedad relativa del suelo (o sea las condiciones de humedad de este suelo).

Como cualquier instrumento mecánico, puede, sin embargo haber un mal funcionamiento del aparato, el cual no dará lecturas precisas; pero estas fallas de funcionamiento son normalmente fáciles de detectar (Ver pregunta N° 18). Frecuentemente una lectura permanece alta después del riego cuando teóricamente el suelo debería estar húmedo. Esto a veces se mal interpreta como un mal funcionamiento de los tensiómetros. Muchos chequeos de estas situaciones han mostrado que el agua de riego no penetra tan profundo como se había esperado (hasta la cápsula porosa), por lo que el instrumento realmente está dando una lectura precisa de las condiciones de humedad del suelo alrededor de la cápsula porosa (zona de la masa radicular principal).

Algunos suelos de texturas densas crean malas condiciones para una respuesta precisa del tensiómetro. La distribución de raíces y el movimiento capilar del agua en estos suelos son muy deficientes. Como resultado de esto, el suelo que rodea las raíces que absorben rápidamente el agua, puede secarse más que el suelo que no está tocado por las raíces. El tensiómetro puede indicar sólo la humedad promedio de todo el suelo que toca la cápsula. Los agricultores compensan esto regando suelos densos cuando las lecturas son menores.

¿CUÁNTO TIEMPO DESPUÉS DE INSTALADO SE PUEDE OBTENER UNA LECTURA?

Las lecturas normalmente son suficientes para obtener una lectura satisfactoria después de la instalación. Si el suelo está seco al momento de instalar el tensiómetro, es necesario un número de lecturas satisfactorias. Bajo condiciones favorables de suelo, una lectura correcta puede obtenerse en 15 a 30 minutos con un tensiómetro nuevo. Algunos tensiómetros especiales tienen una reacción rápida y proveerán de una lectura correcta en 1 a 2 minutos, si el suelo no está seco. Estos están limitados a suelos de profundidad máxima de 30 cms.

¿PUEDEN MOVER DE LUGAR EN LUGAR ?

Los tensiómetros se pueden mover cuando sirvieron su propósito en el lugar original. Para cultivos anuales, se deben sacar antes de la cosecha. Para cultivos perennes, son muy raras veces removidos, pero en algunas ocasiones se pueden cambiar de sitio cada 2 ó 3 años porque el instrumento puede tener una pequeña influencia sobre el patrón de crecimiento de las raíces o bien la planta y las raíces pueden desarrollarse en forma tal, que se requiere de una nueva localización más representativa del tensiómetro. Con cada cambio, la cápsula cerámica pierde porosidad por la cristalización de sales a medida que la superficie se seca (de la cápsula) por lo que no se recomienda el cambio de ubicación. El tensiómetro no es un instrumento que se cambie de lugar para que de lecturas en un minuto o dos después de cada instalación. Preferentemente debe estar fijo para que sea eficiente y duradero.

¿CUANTOS TENSIOMETROS NECESITA ?

No existe una recomendación fija y definitiva del número de tensiómetros por hectárea, porque las condiciones varían. Debería haber, al menos, una y preferentemente dos localizaciones de tensiómetros por cada área del campo o terreno que difiera en textura del suelo y en profundidad, en tipo de cultivo o cobertura vegetal, en pendiente, en método de riego, en tiempo de riego, y en la facilidad o problemas de riego.

En cada localización, se necesitan tensiómetros a diferentes profundidades. El número dependerá del suelo y la profundidad radicular. Usualmente se requerirá solo una profundidad (un tensiómetro) para profundidades radiculares inferiores a 40 cm. Se

usar dos o tres para plantas con sistemas radicular acti
as profundo que 40 cm.

terreno uniforme y grande, regado como un todo, o en va-
rrieros regados con una diferencia de 1 a 3 días, será
cierto una localización cada 4 hectáreas.

un campo de 4 hectáreas, con plantación frutal, y riego por
aspersión, un agricultor usó 6 localizaciones con dos instru-
mentos por localización. La conveniencia está entonces entre
6 localizaciones en 4 hectáreas dependiendo del caso espe-
cífico.

buena idea es comenzar con buena asistencia técnica para de-
terminar el número total necesario.

¿DÓNDE DEBEN UBICARSE ?

Para instalar un tensiómetro y que la cápsula porosa esté en la
zona de raíces activas, en buen contacto con el suelo, debe ubi-
carse en una posición donde el agua de riego llegue con seguri-
dad dentro del perfil del suelo. Se debe observar la concentra-
ción de la zona de raíces activas y la profundidad haciendo una
perforación (pala o barreno) cerca de la planta, pero no justo
debajo del tensiómetro será instalado. En frutales nuevos, se debe
colocar el tensiómetro (la cápsula porosa) en el paquete de raíz
es ya que el suelo dentro de éste, seguramente será diferente
al suelo de afuera y las lecturas no serán correctas.

Después de algunas semanas, el tensiómetro se puede reinstalar
cerca de la línea de riego de los nuevos árboles. Pueden ocurrir
subsecuentes redistribuciones del tensiómetro anualmente duran-
te el período de rápido crecimiento, y posteriormente en forma
menos frecuente. En el riego por surcos se debe colocar el ins-
trumento lo suficientemente cerca como para asegurar que la cáp-
sula alcanzará el agua de riego. En la mayoría de los cultivos
en hileras, se ubican en la hilera de plantas. Con riego por
aspersión, se colocan los tensiómetros donde puedan "ver" el
aspersor; esto es, donde el agua del aspersor no esté bloquea-
da por un poste, tronco, ramas de hojas, etc. En riego por ge-
teó, se deben ubicar a 30-45 cm desde el emisor.

En algunos cultivos se debe ubicar el instrument en localizacio-
nes críticas o problemáticas en donde se desea especialmente
conocer el contenido de agua del suelo. Estos lugares pueden ser
lugares difíciles de humedecer, que se secan muy rápidamente,
o permanezcan excesivamente húmedos. Los tensiómetros son muy
útiles para identificar y ayudar a resolver problemas de riego
que ocurren en el suelo.

¿CÓMO SE DEBEN INSTALAR ?

Para una buena instalación, se debe insertar la cápsula de cerámica dentro de un hoyo previamente preparado con un barrero, de tal forma que las paredes de la cápsula porosa estén en estrecho contacto con suelo no disturbado y las raíces. Para profundidades de hasta 120 cm (las más frecuentes) en todos los casos se debe mantener el hoyo limpio con el mismo diámetro del tensiómetro. Muchos tensiómetros difieren en su diámetro. Se debe luego, presionar el tensiómetro con cuidado de no presionar el manómetro, hasta el fondo y finalmente comprimir el suelo alrededor del instrumento, para que no penetre agua directamente por el tubo hacia abajo. Las instalaciones de más de 120 cm no son comunes, pero a veces son necesarias. Requieren de llaves y técnicas especiales de instalación y probablemente asistencia técnica de una persona calificada.

¿ESTARÁN LOS TENSÍOMETROS EN EL CAMINO DE LAS OPERACIONES NORMALES DE MANEJO?

Si es así, se deben proteger y marcar correctamente, y así podrán ser usados con pocos inconvenientes. O bien pueden instalarse con la cápsula porosa ubicada en el lugar necesario pero el tapón y el manómetro en una posición protegida. Se pueden instalar en una caja sumergida con una tapa movable, en cuyo caso los tensiómetros están fuera de los caminos y protegidos de las operaciones (menos aradura y rastraje). Este método es particularmente útil en riego por aspersión.

¿ESTÁN LOS TENSÍOMETROS SUJETOS A DAÑOS ?

Si. Se pueden romper y los manómetros se pueden arruinar si se exponen a temperaturas de congelamiento. Los tensiómetros deben ser protegidos contra estos daños. Para protegerlos contra posibles accidentes con llaves o paños, y maquinaria, se deben marcar con una banderilla roja o de color llamativo y cubrirlos con una caja u otro tipo de cubierta de protección.

Para protegerlos contra el congelamiento, se debe cubrir los instrumentos durante las épocas de frío con una caja o con una bolsa llena de desechos textiles.

¿CUANDO Y CÓMO DEBEN LEERSE LOS TENSÍOMETROS ?

La lectura más adecuada es cuando el agua está en reposo. El movimiento de agua en las plantas y el suelo puede detenerse momentáneamente y existe una condición estacionaria. En la práctica siempre leer el manómetro cuando el agua está en reposo.

La frecuencia de las lecturas depende de la velocidad de absorción del uso de agua utilizada en relación con la capacidad de aporte de la zona de las raíces del suelo.

Mínimo de tres lecturas deberían efectuarse entre dos riegos consecutivos. En general se deben tomar las lecturas con una frecuencia tal que el cambio entre dos lecturas no sea mayor que 10 a 15 centibares.

Algunos usuarios toman lecturas tres veces a la semana. Si el riego se lleva a cabo una vez a la semana, se debe tomar lecturas diarias. Si el riego es mensual, dos veces a la semana es adecuado. Durante el invierno, basta una lectura semanal.

EN CUAL LECTURA SE DEBE REGAR ?

Esto depende del suelo, del cultivo, del clima y del método de riego. Lo mejor es que cada usuario determine bajo sus propias características, cuál es la lectura en la cual debe regar, lo que no es muy difícil. La experiencia y la investigación han aportado algunas pautas generales para comenzar un programa.

Con métodos de riego tradicionales (riego por tendido o por surcos) no se debe regar cuando las lecturas están en el rango de 0-10 centibares. El suelo está ya muy mojado y las raíces pueden sufrir de falta de oxígeno. En la mayoría de las condiciones de campo, no se requiere regar en el rango de 10-25. Con pocas excepciones, no se debe atrasar un riego con lecturas de 75-80. El suelo está comenzando a secarse, y su habilidad para reponer agua rápidamente a las plantas durante los períodos de alta demanda o rápido uso es muy pobre.

Aquí se presentan algunas sugerencias para las lecturas de riego que pueden ser usadas como guía para algunos cultivos regados por métodos tradicionales de riego (no son valores fijos y deben ser ajustados a cada condición).

Centibares

Arboles frutales de hoja caduca	70 - 80
Citrus	50 - 70
Paltos	40 - 50
Viñas	40 - 60
Tomates	60 - 70
Lechuga	40 - 50
Bréculas	20 - 30
Apio	20 - 30
Melones, Zucchini	50 - 60
Pastos	20 - 30

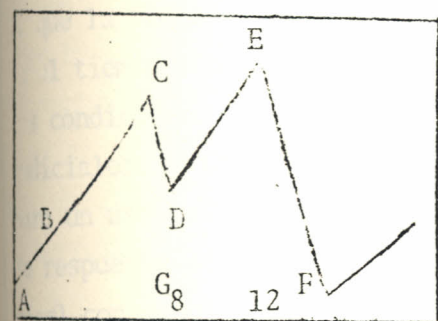
En riegos frecuentes como riego por goteo o aspersión, el objetivo es mantener las lecturas dentro del rango de 10-25 a través del control de la cantidad de agua aplicada.

¿REQUIERE LLEVAR UN REGISTRO DE LAS LECTURAS ? _____

Se puede obtener un beneficio completo del uso de los tensiómetros, al llevar un registro de las lecturas y, preferentemente, llevando estos registros en gráficos. Las líneas del gráfico muestran qué ha pasado antes de cada medición y haciendo una estimación futura se puede saber con cierta exactitud qué va a acontecer en los próximos días.

Gráfico

Lecturas



Días

- (A) Poco después de un buen riego
- (B) Con este punto, es posible, extendiendo la línea AB, de predecir cuando será necesario regar.
- (C) Justo antes del riego
- (D) Después de un riego que no penetró adecuadamente.
- (E) El suelo se secó prontamente debido al riego inadecuado.
- (F) Refleja un riego adecuado después de E.
- (G) Es muy útil anotar día y hora del riego.

¿NECESITAN LOS TENSÍOMETRO CUIDADOS ADEMÁS DE LAS LECTURAS ? _____

Periódicamente, los tensiómetros necesitan ser rellenados con agua. En cada lectura, se debe chequear el nivel de agua. Si esta está más de 3 a 5 cm bajo el tapón, se debe agregar agua. Todos los tensiómetros deben ser probados tres a cuatro veces en el año, succionando el tensiómetro.

¿POR QUÉ NECESITAN SER RELLENADOS CON AGUA ? _____

Cuando la succión del suelo permanece baja, se pierde muy poca agua del tensiómetro. Cuando el suelo se comienza a secar, esta succión en aumento saca el agua del instrumento, creando un alto vacío contra el cual es muy difícil prevenir una pequeñas fuga de aire. En condiciones de alta succión, los poros de la cápsula de cerámica permiten en el paso de alguna cantidad de aire hacia dentro del tensiómetro. Cuando el suelo se riega, el agua es devuelta al interior del instrumento, pero no en forma suficiente para llenarlo, si ha entrado aire. El mejor momento para agregar agua es después del riego, cuando el llenado natural ha hecho parte del trabajo, y el vacío es pequeño, luego el tapón se puede remover fácilmente.

¿POR QUÉ FRACASAR LOS TENSIÓMETROS ?

Algunas veces fallan aunque no es muy común que ocurra. Si se ha dañado un tensiómetro, éste no va a cumplir su función. Puede suceder que el manómetro se oxide y dejar de funcionar o trabarse, si entra agua bajo el vidrio, o se congelarse y fallar. Puede penetrar aire por una rotura del tapón, por conexiones o por el manómetro. Se puede trizar el tapón por la acción de la luz solar y la polución del aire. Si el tapón de repente se sale y la lectura es alta, la aguja del manómetro, puede golpear el clavito y marcar el 0 con suficiente fuerza para anular la fricción, y provocaría lecturas equivocadas. Muy raras veces, ocurre una depositación cristalina en el cuello del manómetro bloqueando su acción. Se puede remover este depósito con una pequeña pieza de alambre.

Los poros de la cápsula de cerámica se llenan en forma gradual e medida que van cristalizando materiales disueltos en la solución del suelo. Esto hace que la transferencia de agua a través de la cápsula sea más lenta y aumente el tiempo requerido para que el tensiómetro responda a los cambios de las condiciones de humedad del suelo. Algunos de estos efectos no son perjudiciales, pero si el tiempo de respuesta comienza a ser demasiado lento para un uso satisfactorio, se debe instalar una nueva cápsula. La velocidad de respuesta se puede recuperar parcialmente alisando la cápsula (el exterior) con papel de lija fino.

El tiempo que toma alcanzar estas condiciones depende del suelo y su uso. Si se dejan los tensiómetros en el campo la porosidad de la cápsula, permanece satisfactoria por muchos años en la mayoría de los suelos.

Cada vez que se mueve el instrumento del suelo, la vida de la cápsula se reduce, especialmente si los suelos son calcáreos y salinos. En casos extremos, cuando los tensiómetros se instalan y remueven muchas veces, la porosidad de la cápsula puede en un año ser inútil. Para minimizar el daño, la cápsula del tensiómetro que ha sido recién removido del suelo, debe protegerse del aire seco, hasta que el instrumento se haya llenado, limpiado y secado.

¿CÓMO SABER CUANDO UN TENSIÓMETRO NO ESTÁ TRABAJANDO ?

Un instrumento que está sin agua o que gotea, permanecerá en 0. Dos o más lecturas sucesivas de 0, en el mismo tensiómetro son signo de mal funcionamiento y no deben ser tomadas como lecturas reales. En la mayoría de los casos el desajuste es fácilmente corregido (Ver pregunta N° 18). Si el manómetro se ha oxidado, o tiene depósitos cristalinos en su cuello, permanecerá una lectura fija aún cuando se remueva el tapón. Un manómetro congelado puede o no responder cuando el suelo se seca, pero aún si responde, será

recto. Si se sospecha que una lectura no es correcta, hay que chequear el manómetro succionado al tensiómetro. Las lecturas mayores de lo que se es-
pecialmente después de un riego, generalmente no son fallas del
tensiómetro, sino que fallas en la penetración del agua de riego hasta la
profundidad de la cápsula.

¿ PUEDE HACERSE PARA CORREGIR UNA FALLA ? _____

Si el manómetro permanece en 0, se debe rellenar con agua y succionar. El manómetro debe estar vacío en suelo seco; así en el caso de lecturas altas, puede probar la existencia de burbujas de aire. Si la cápsula estaba seca, burbujas finas van a subir por algunos minutos pero eventualmente cesan. Se debe determinar la fuente de entrada de burbujas. Si las burbujas vienen desde la parte de más abajo, se debe sacar el tensiómetro y enviarlo a reparar (seguramente se debe cambiar la cápsula). Si las burbujas suben al manómetro, éste debe estar mal conectado y necesitará ajustarse. Si no suben burbujas, puede ser que el tapón está roto o no fue colocado convenientemente.

Si la aguja del manómetro permanece fija y éste parece oxidado, debe remover, desarmar y secarlo si aún está húmedo. Se debe aplicar un removedor de herrumbre (aceite) en todas las partes movibles y superficies.

Uno o dos días después de aceitarlo, se debe limpiar cuidadosamente para remover el óxido, y probar el movimiento de la aguja cuidadosamente con la mano. Se debe luego aplicar un poco de aceite fino y rearmar. Posteriormente chequear nuevamente mediante succión para ver la operación y precisión del sistema. Algunos manómetros congelados se pueden restaurar pero el trabajo es tedioso y las oportunidades de éxito son limitadas.

ANEXO N° 8

EFICIENCIA DE IRRIGAÇÃO

Dr. Luis A. Gurovich

Consultor IICA - EMBRAPA / CPATSA

Petrolina - PE. 1979

EFICIENCIA DE RIEGO

INTRODUCCION

En los estudios de evaluación de recursos naturales de una región determinada, el conocimiento de las características de los suelos, constituye una herramienta fundamental, ya que el recurso suelo es la base de sustentación de una de las actividades principales de toda región geográfica, cual es, la agricultura. Si la agricultura de la región en estudio corresponde a una agricultura de riego, se hace necesario estudiar aquellos parámetros y características hídricas de los suelos agrícolas regados, con el fin de poder evaluar las tecnologías utilizadas por los agricultores en la actualización del otro recurso fundamental de la agricultura de riego, el agua.

La caracterización hídrica de los suelos es el estudio de los parámetros físicos de estos, que relacionan el suelo y el agua. Estos parámetros corresponden a las características de retención de agua, y a sus propiedades de infiltración durante el riego. Una vez determinados estos dos conjuntos de características, es posible tener una visión clara de los problemas de frecuencia de riego, (responder a la pregunta fundamental de "cuándo" regar), y de los problemas de diseño de sistemas o métodos de riego adecuados, a nivel del agricultor o usuario del agua, o sea, responder a las otras preguntas fundamentales del agricultor de riego ("Como" regar y "durante cuánto tiempo" regar.) Asimismo, el conjunto de características hídricas de un suelo, o suelos en una zona determinada, nos permite evaluar y comprender aquellos problemas relacionados con el manejo actual y futuro del agua durante la práctica del riego, cuya eficiencia preocupa muy especialmente en los estudios de evaluación de recursos y de planificación regional.

La eficiencia con que los agricultores aplican su dotación de agua de riego al suelo, depende de dos *factores fundamentales*:
1) el manejo del agua durante el riego, y
2) las características hídricas del suelo que se está regando.

Dentro del manejo del agua durante el riego, se distinguen dos aspectos que interactúan en forma determinante en la eficiencia de aplicación del agua de riego:

el diseño del sistema de riego (dimensiones y orientación del campo regado, pendiente, infraestructuras de abastecimiento de agua, control de caudales, recepción de derrames, etc.).

los caudales utilizados y la dirección del flujo de agua sobre la superficie del suelo durante el riego.

la frecuencia de riego, que en este caso determina el contenido de agua del suelo en el momento previo a la aplicación de agua.

el tiempo de riego utilizado, durante el cual el agua está en contacto con la superficie del suelo, permitiéndose en esa forma que tenga lugar el proceso de infiltración.

Entre las características hídricas de los suelos regados, los siguientes aspectos son determinantes en la eficiencia con que los agricultores aplican el agua del riego:

1) la velocidad de infiltración del agua, o sea, la propiedad del perfil del suelo de permitir el flujo descendente del agua, que está en contacto con la superficie, a través del perfil en profundidad.

2) las características de retención del agua del suelo, o sea, la energía con que está retenido en el suelo un cierto contenido de agua; esta energía resulta de las interacciones fisicoquímicas de adsorción y tensión superficial, entre las partículas del suelo (principalmente arcillas), y las moléculas de agua, así como de la estructura del suelo, u ordenamiento de sus partículas en modelos especiales determinados.

3) la profundidad del perfil del suelo y sus condiciones de estratificación, que determinan las diferentes capacidades conductivas del perfil total frente al agua.

4) la densidad aparente de las diferentes estratas del perfil del suelo, también resultante de complejas interacciones entre la textura (composición porcentual de partículas del suelo según su tamaño) y estructura.

Esta interacción entre manejo del agua de riego, y las características hídricas del suelo, que constituye la causa de una determinada eficiencia de utilización del agua de riego, da origen a varias situaciones posibles. En primer lugar, ocurre con frecuencia que las características de manejo del agua de riego, son tradicionales y tienden a mantenerse en el tiempo, habiendo sido transmitidas a un agricultor a otro hace bastante tiempo, copiándose, en mayores variaciones entre zonas de suelos muy diversos en sus

características hídricas. Así, pueden resultar dos situaciones de muy similares en suelos diferentes, lo que conduce a eficiencias de utilización del agua de riego totalmente diversas. Por otra parte, no siempre se operan los diferentes métodos de riego en los rangos de eficiencia con que han sido diseñados, a través de un manejo diferenciado del agua, para cada tipo de suelo. Esto es de gran importancia, y en el fondo constituye la esencia de un programa de tecnificación del riego: adecuar el manejo del agua al suelo que se está regando, con el fin de alcanzar la eficiencia óptima para el método de riego usado.

Los métodos de riego tradicionalmente usados por los agricultores - tendido y surco -, y que el futuro previsible, seguirán siendo utilizados con modificaciones técnicas fundamentales pero baja inversión, están diseñados para aplicarse con una cierta eficiencia, que cae dentro de un rango relativamente estrecho; por su límite inferior, la eficiencia indica que se producen pérdidas considerables de agua por percolación profunda y/o escurrimiento superficial; sobre el límite superior se está indicando que el riego necesariamente ha sido poco adecuado para suplir el agua que el suelo consumida por los cultivos, tal como se explica más adelante. Este riego deficiente, cuyo índice es una alta o baja eficiencia de aplicación, debe implementarse para obtener el resultado que se persigue con el riego, cual es, proporcionar a las plantas de un cultivo, en forma homogénea, condiciones de humedad del suelo, acordes con sus requerimientos, de acuerdo a la definición aplicada en el Capítulo 1.

Es indispensable establecer, por lo tanto, un rango de eficiencia para cada método de riego, y por esto que se hace necesario definir más exactamente que se entiende por eficiencia de riego, cuales son los componentes de esta eficiencia, y analizar luego brevemente algunas situaciones de eficiencia que pueden presentarse, interpretando su significado desde el punto de vista práctico, agronómico y económico y el efecto de la eficiencia de aplicación del agua, sobre la tasa de riego.

ACTUALIZACION DE LA EFICIENCIA DE RIEGO Y SUS COMPONENTES

Uno de los parámetros fundamentales que deben establecerse en un proyecto de factibilidad o evaluación de recursos, en los cuales el riego juegue un papel importante, es la tasa de riego, o cantidad de agua que se utiliza - o debe utilizarse - por unidad de superficie, para regar. La definición de tasa de riego así expresada es muy vaga. No indica quién ni cuando utiliza el agua para el riego, en qué forma ésta es utilizada, ni cuál es el objetivo que se persigue en riego específico para el cual se utiliza la cantidad de agua estimada como tasa de riego.

Se define más precisamente la tasa de riego como una relación entre el uso-consumo y la eficiencia de aplicación del agua, de acuerdo con la ecuación 1.

$$TR = \frac{U.C.}{Eap} \quad \text{Ecuación 1}$$

De acuerdo con esta definición, la tasa de riego es función directa de la variable Uso-Consumo (U.C.), e inversa de la variable eficiencia de aplicación (Eap). Sin embargo, existe una diferencia fundamental en el efecto de un cambio de algunas de estas dos variables sobre la tasa de riego; por una parte el Uso-Consumo varía en un rango relativamente amplio, ya que es la resultante de la interacción de tres procesos que

- la demanda evaporativa de la atmósfera
- el contenido de agua del suelo
- el estado de desarrollo del cultivo.

Por otra parte, la eficiencia de aplicación (Eap), como la definiremos más adelante, es una variable continua solamente en el rango de 0 a 1 (0 a 100%). Por esto, una variación relativamente pequeña en la eficiencia de aplicación, tiene un efecto muy significativo sobre la tasa de riego, al compararlo con el efecto de una variación similar en el Uso-Consumo. De allí que deba estudiarse con cierto detalle los valores de eficiencia de aplicación que se usarán en los estudios de riego, con el fin de no sobre-estimar o sub-estimar las tasas de riego para los diferentes cultivos o suelos. Este aspecto es de tal importancia, que si se ha determinado una tasa de riego promedio para diferentes cultivos de una zona, subvaluada en un 10%, esto traerá como consecuencia que un embalse regional o una

canales, una vez contruidos, no tendrán la posibilidad de proporcionar el agua necesaria para regar toda la superficie para la cual fueron proyectados, debiendo dejarse de cultivar un 10% los suelos que en principio se regarían; si, por el contrario, sobre-estima en un 10% la tasa de riego, ello implica que los canales y canales se construirán sobredimensionados en ese porcentaje, a un costo que no es lineal con la dimensión sino que es exponencial; esto implica, que para aumentar en 10% la capacidad de almacenamiento o conducción, el costo no sube un 10% sino que mucho más; teniendo de las características de la región, puede llegar a multiplicarse el costo de estas obras por un sobre-dimensionamiento de 10%.

Definiremos como eficiencia de utilización a la resultante de la interacción de las eficiencias de tres condiciones de aplicación del agua durante el riego, de acuerdo con la ecuación 2.

$$Eu = Eap \times Eal \times Ed \quad \text{Ecuación 2}$$

que Eu es la eficiencia de utilización o eficiencia agronómica.

Eap es la eficiencia de aplicación

Eal es la eficiencia de almacenamiento

Ed es la eficiencia de uniformidad.

Esta definición de Eu es solamente válida a nivel local. Nos interesa, en la determinación de la tasa de riego, qué cantidad de agua debe utilizarse por unidad de superficie, nivel de campo que se está regando, sin considerar la pérdida a nivel de zona puedan tener los canales de conducción, ni la utilización y recuperación de las aguas en otros campos o presas en la zona de riego. Esos procesos, con sus eficiencias correspondientes, deben incluirse en un balance hidrológico a nivel de cuencas, pero la tasa de riego corresponde a un valor aplicable a la unidad superficial continua que está regándose en una temporada determinada.

Entendemos aquí como eficiencia de aplicación a la relación que existe entre el agua que entra al sector de riego y el agua que efectivamente es utilizada en la zona radical de acuerdo a la ecuación 3.

$$\text{Eap} = \frac{V \text{ entrada} - V \text{ salida}}{V \text{ entrada}}$$

Ecuación 3

Esta eficiencia se ha definido en base a volúmenes de agua, en la forma que se determina normalmente. Sin embargo, es posible traducir esta información a cualquier unidad de las comúnmente usadas en riego, con caudales, cargas de agua, etc.

El volumen de entrada corresponde a la cantidad total de agua que se hace entrar al sector del riego durante el tiempo que dura esta práctica. El volumen de salida está representado por dos tipos de pérdida:

1. la cantidad total de agua que sale del sector de riego por escurrimiento superficial y no tiene la posibilidad de infiltrar al suelo, y

2. la cantidad de agua que sale del sector de riego por percolación en la zona de arraigamiento del cultivo y no queda a disposición de las plantas.

Es así, como una eficiencia de aplicación cercana al 100% indica necesariamente un buen riego, ya que, de acuerdo con la definición de la ecuación 3, agregar un litro de agua a una hectárea de suelo relativamente seco, tendría una eficiencia de aplicación de 100%, ya que no habría pérdida de ningún tipo; sin embargo no sería un riego muy efectivo para el cultivo.

Esta eficiencia de aplicación representa en realidad la eficiencia que debe utilizarse en aquellos estudios en que se incluyen balances hidrológicos, ya que guarda relación con la técnica misma del riego. Si bien no indica si el riego es satisfactorio desde el punto de vista de una práctica agronómica, es el parámetro que indica cuánta agua, del volumen total que se aplica por unidad de superficie, se utiliza para regar el suelo.

Además de minimizar las pérdidas de agua desde el sector de riego por escurrimiento superficial y por percolación profunda, o sea, además de mejorar la eficiencia de aplicación, debe tenerse en cuenta la segunda variable de la ecuación 2, la eficiencia de almacenamiento, que se define como la relación entre el agua almacenada en el perfil como efecto del riego y el agua necesaria para llevar ese mismo perfil hasta capacidad de campo en toda la profundidad de arraigamiento del cultivo (Ecuación 4).

$$E_{al} = \frac{\text{Volumen almacenado}}{\text{Volumen necesario para CC}}$$

Ecuación 4

Para un suelo con una velocidad de infiltración determinada el volumen almacenado dependerá del tiempo de riego; el volumen necesario para llevar el perfil hasta la profundidad de arraigamiento del cultivo a capacidad de campo depende del contenido de agua antes del riego. tampoco en este caso una eficiencia de almacenamiento de 100% está indicando un riego adecuado, ya que es posible llevar el perfil del suelo hasta la capacidad de campo con una pérdida por escurrimiento superficial y/o percolación profunda significativamente altas.

La última componente de la eficiencia de utilización es la eficiencia de uniformidad, definida como la relación entre el promedio de profundidad alcanzada por el agua en un perfil durante el riego y la desviación de este promedio para un número de puntos específicos de muestreo.

$$E_d = 1.0 - \frac{\sum |x|}{n \cdot M}$$

Ecuación 5

donde $\sum |x|$ es la suma de los valores absolutos de la desviación de las observaciones individuales con respecto al promedio de profundidad de mojado M , y n es el número de observaciones. Si, mientras las desviaciones sean pequeñas respecto al promedio, o sea, mientras la profundidad de mojado del perfil regado sea más uniforme, mayor será la eficiencia de uniformidad.

La eficiencia de utilización del agua de riego, y sus componentes aquí definidos, tienen validez agronómica para un campo regado en forma individual y permiten, una vez evaluados durante el riego de un agricultor, definir cuales son las prácticas de manejo del agua durante el riego, susceptibles de modificar, con el fin de adecuar la eficiencia de riego al método y a las características del suelo. Es por esto que se hace necesario discutir aquí con cierto detalle algunas situaciones de eficiencia posibles de encontrar.

Como se explicó anteriormente, la eficiencia del riego resulta de la interacción entre el manejo del agua de riego, y las características hídricas del suelo. Estas últimas, son prácticamente fijas para un suelo dado y no son modificables directamente, por

El manejo del agua, es la única herramienta eficaz para aumentar la eficiencia del riego en un suelo específico.

Cuando se encuentran eficiencias de aplicación muy bajas, puede ser que las pérdidas por percolación profunda y/o escurrimiento superficial, han sido grandes. Si se trata de una gran área de riego, es probable, que la causa sea un tiempo de riego demasiado prolongado, en un suelo con una velocidad de infiltración relativamente alta. El manejo en este caso debe modificarse a tiempos de riego más cortos, y por lo tanto también a paños de riego más pequeños.

Si, por otra parte, las pérdidas se deben principalmente a escurrimiento superficial, es probable que la pendiente sea muy pronunciada, para el método de riego usado, debiéndose nivelarse los campos o cambiar el método de riego. Otra causa puede ser el uso de paños muy grandes y sin regulación, debiendo solucionarse esta situación para aumentar la eficiencia; una causa adicional puede ser un suelo con una velocidad de infiltración relativamente pequeña, que indica que los campos de riego deben agrandarse, así como hacer más prolongados los tiempos de riego, disminuyendo significativamente los caudales empleados y la pendiente, de tal forma como permitir un contacto prolongado del agua con la superficie del suelo que se está regando.

Cuando se encuentran eficiencias de aplicación muy altas, puede concluirse que se han minimizado las pérdidas por percolación profunda, y por escurrimiento superficial. Sin embargo, para los paños de riego superficiales que utilizan generalmente los agricultores, esto indica que, si bien gran parte del agua aplicada, penetra dentro del perfil del suelo que se está regando, la distribución de esta agua debe ser poco adecuada, y es probable que existan pérdidas de agua por percolación profunda a la entrada del paño de riego, pero que al acercarnos al final de éste solo se alcance a penetrar unos pocos centímetros del perfil.

Los de eficiencias de riego

La Figura 1 contiene nueve perfiles ilustrativos de prácticas comunes de riego. Los ejemplos a, b, c presentan una aplicación excesiva de agua cerca de la entrada de la unidad de riego y representan como los tres componentes de la eficiencia de utilización del agua, a medida que se incrementa la cantidad total de agua aplicada.

Los ejemplos d, e y f ilustran prácticas de riego muy comunes en nuestra agricultura de riego. Los ejemplos g, h e i, muestran la distribución del agua del suelo que se obtiene con riego por aspersion. Como se ha explicado eficiencia de aplicación de 100% en métodos de riego superficiales, son un indicador de un riego agrónomicamente inadecuado, asimismo eficiencia de aplicación y de distribución muy altas, implican necesariamente costos elevados en infraestructura, equipos y operación del riego, que pudieran ser superiores a los beneficios derivados de su aplicación. Es por esto que es necesario evaluar económicamente hasta donde se justifica mejorar la eficiencia de una práctica de riego, o la selección de un método alternativo más eficiente, en relación a la rentabilidad y potencial productivo de los cultivos a regar.

FIGURA 1

Perfiles esquemáticos que resultan de diferentes prácticas de riego, en relación con la eficiencia de riego.

EFICIENCIAS DE RIEGO EN RELACION AL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Muchos países cuentan con zonas áridas o semi-áridas, tienen en estos momentos una falta de agua para regar toda la superficie agrícola potencial y económicamente regable. Esto ha llevado a estudiar la necesidad real que pueda tener una agricultura exitosa de las grandes cantidades de agua que se aplican hoy día, si hay posibilidades de ahorrar agua sin comprometer los rendimientos de los cultivos. Muchos investigadores coinciden en que los volúmenes de agua hoy se usan para regar los cultivos agrícolas (tasas de riego) son exagerados y son susceptibles de ser reducidos al aumentar las eficiencias de aplicación.

Sin embargo, existen algunas definiciones de eficiencia de riego, además de las tratadas en el punto anterior, que guardan relación con el aporte de agua a los cultivos, el rendimiento que éstos se obtiene, y el consumo de agua.

La Tabla 1 presenta un resumen de algunas de éstas definiciones de eficiencia de riego, con referencia bibliográfica para consulta detallada por parte del lector.

Tabla 1

Trminos utilizados para describir eficiencias de riego y eficiencias de uso del agua por los cultivos.

Término	Simbolo	Formula	Descripción	Referencia
eficiencia de riego.	Er	$\frac{VET}{Vap}$	Relación entre el volumen de agua consumido (evapotranspirado) por el cultivo y el volumen de agua aplicado.	Hagan, 1967
eficiencia de uso consumo.	E_{UC}	$\frac{Vucp}{Vucr}$	Relación entre el volumen de agua potencial - mente evapotranspirado por el cultivo en condiciones normales y el volumen de agua realmente evapotranspirado (Índice de stress).	Hagan, 1967
eficiencia de uso de agua	Eu	$\frac{Rend}{VET}$	Relación entre el peso seco o peso comercia - ble (ton/hectarca) y la carga de agua evapo - transpirada por el cultivo.	Viets, 1965
eficiencia óptima del riego.	E_{opt}	$\max \frac{Rend}{Vap}$	Valor máximo de la relación entre rendimiento y agua aplicada en la estación del cultivo.	Schmnueli, 1973

Los agrónomos y los ingenieros hidráulicos normalmente expresan el rendimiento en toneladas por hectarca por centímetro de carga de agua aplicada, mientras los economistas prefieren otros parámetros, como el valor calorífico de la producción, o el equivalente en

del cultivo en cuestión. Asimismo, los especialistas en economía del agua se preocupan de las funciones de producción del agua de riego y retorno marginal, o sea, de la cantidad física de riego adicional que puede obtenerse al incrementar el riego medida por el número de metros cúbicos de agua adicional usada.

Resulta evidente que la eficiencia del uso de agua en la agricultura, debería estar basada en consideraciones económicas, y la investigación de los aspectos económicos del riego está hoy en sus etapas iniciales. El término "eficiencia de uso de agua" Euc, representa un enfoque tradicional, que supone que es posible aumentar el nivel de eficiencia incrementando el número (o sea el rendimiento) sin cambiar el denominador (o sea la evapotranspiración), en la fórmula correspondiente; el Término de eficiencia óptima del riego Eopt representa en cambio, un enfoque de optimización, que indica que es posible mejorar la eficiencia del riego al aumentar el rendimiento y simultáneamente disminuir la cantidad de agua aplicada, por debajo del valor de evapotranspiración.

En el enfoque tradicional, poco esfuerzo se ha dedicado a aumentar la proporción del agua de riego efectivamente evaporada por el cultivo, y más bien se han buscado variedades técnicas productivas aparte del riego, que aumenten el rendimiento, y con ello, en forma indirecta, se ha mejorado la eficiencia de uso del agua; el camino recorrido en ese sentido ha sido demasiado largo, especialmente cuando la disponibilidad de agua para las plantas, como resultado de un riego poco oportuno o poco uniforme, es escasa. En el enfoque de optimización se han conseguido resultados sorprendentes, al seleccionar una frecuencia alta de riego, con cargas de agua comparativamente pequeñas, de tal manera de mantener en el perfil del suelo en forma constante una baja succión del agua, siendo posible así reponer en la temporada del riego menos agua que la evapotranspirada, al hacer uso de un mojamiento parcial del perfil del suelo (no todo el suelo es mojado). De esta manera, una agricultura permanente en un alto nivel productivo puede ser mantenida con un aporte de agua durante la temporada de crecimiento, inferior a aquel evapotranspirado por el cultivo. La diferencia entre la evapotranspiración estacional y la cantidad de agua de riego aplicada se obtiene del agua almacenada en la zona radicular al comienzo de la estación.

crecimiento, cuyo origen puede ser la lluvia invernal o un riego profundo de presembrado.

Gurovich (1979), ha presentado un trabajo de investigación realizado en Chile, acerca de eficiencias de riego, eficiencias de rendimiento y eficiencias de uso de agua, en diferentes cultivos regados en forma tradicional y en forma tecnificada (o sea, con una frecuencia y una carga de agua adecuadas a las condiciones de clima, suelo y cultivo). Los resultados de este trabajo, que se presenta en la Tabla 2, representan la proporción del volumen total de agua aplicado en la estación de crecimiento, que fue efectivamente evapotranspirada por los cultivos, o sea, que fue utilizada por el cultivo para producir rendimiento. En el caso de las parcelas regadas en forma tecnificada, el incremento en eficiencia de riego es en promedio de 56%. Asimismo, el rendimiento de los cultivos, por unidad de volumen de agua aplicada fue calculado de acuerdo a la definición de Schmmueli (1973) de la Tabla 1; los resultados indican que al mejorar la práctica del riego, se obtiene incrementos en la eficiencia de rendimiento del agua (relación entre rendimiento y agua aplicada) que en promedio alcanzan a un 127% para las parcelas con riego mejorado en comparación con aquellas regadas tradicionalmente. Cuando se estudia la eficiencia del uso del agua, de acuerdo a la definición de Viets (1965) de la Tabla 1, se encuentra un incremento promedio de 44% entre ambos tipos de parcelas; para el caso del tomate por ejemplo se obtiene 6.57 Kg de frutos frescos comerciables por cada m^3 de agua evapotranspirada por el cultivo en las parcelas controles (riego tradicional) comparado con 11.7 Kg de fruto por m^3 de agua en las parcelas con riego mejorado, o sea, un incremento de 78%.

Eficiencia de riego, de rendimiento y uso de agua

Eficiencia	Tipo de riego	Cultivo			
		Manzanos	Duraznos	Paltos	Uva de mesa
$E_r = \frac{VET}{Vap} \cdot 100$	Tradicional	41.0	34.9	36.3	41.8
	Mejorado	63.0	55.8	56.5	65.9
$E_{rend} = \frac{Rend}{Vap}$	Tradicional	0.80	0.60	0.18	0.60
	Mejorado	1.74	1.22	0.38	1.51
$E_u = \frac{Rend}{VET}$	Tradicional	1.96	1.76	0.48	1.65
	Mejorado	2.75	2.19	0.67	2.29
		Maíz	Papas	Trigo	
$E_r = \frac{VET}{Vap} \cdot 100$	Tradicional	25.0	44.6	35.7	
	Mejorado	51.4	53.9	53.3	
$E_{rend} = \frac{Rend}{Vap}$	Tradicional	0.27	0.99	0.32	
	Mejorado	0.78	2.10	0.70	
$E_u = \frac{Rend}{VET}$	Tradicional	1.07	2.23	0.90	
	Mejorado	1.52	3.45	1.31	
		Porotos	Tomatos	Trébol	Alfafa
$E_r = \frac{VET}{Vap} \cdot 100$	Tradicional	35.8	42.2	31.9	39.5
	Mejorado	53.0	55.8	50.5	55.8
$E_{rend} = \frac{Rend}{Vap}$	Tradicional	0.23	2.27	0.14	0.26
	Mejorado	0.49	6.53	0.32	0.47
$E_u = \frac{Rend}{VET}$	Tradicional	0.63	6.57	0.43	0.65
	Mejorado	0.91	11.70	0.57	0.92

A la luz de los resultados presentados en la Tabla 2, y de muchos trabajos de investigación publicados al respecto en la literatura especializada, y que han sido resumidos en varias de las referencias que se presentan al final de este capítulo puede decirse que un mejoramiento en la práctica del riego, al adaptarla a las condiciones de suelos, clima y cultivo específicos, tiene como resultado un incremento en la eficiencia del riego, expresada en cualquier relación entre el rendimiento y el agua aplicada o el agua evapotranspirada efectivamente por el cultivo.

Un aumento en la eficiencia agronómica del riego, y por ende de sus componentes de acuerdo a la ecuación 2, que se logra con una práctica mejorada del riego, permite transformar la situación de riego de la Figura 1.1a a la de la Figura 1.1b y con ello, dejar a lo largo del campo regado, un mayor número de plantas con una disponibilidad más adecuada de agua y por ello, mejores posibilidades de alcanzar su rendimiento potencial.

EFICIENCIAS DE RIEGO EN RELACION A LOS METODOS DE RIEGO

Después que el agua ha sido conducida hasta el campo de riego, la meta del agricultor debe ser distribuir esta agua lo más uniformemente posible sobre la superficie del campo, siendo el método de riego por el cual se realice esta operación, de gran importancia en la obtención de la eficiencia adecuada de riego.

Los métodos de riego, cuando son operados correctamente, están diseñados de tal manera que permiten optimizar la eficiencia agronómica del riego de la Ecuación 2. Se analizará con cierto detalle las eficiencias de riego de cada método en particular en el capítulo correspondiente, pero es conveniente señalar que cada método de riego en forma específica tiene una Eficiencia determinada, o sea, una eficiencia de diseño. La Tabla 3 indica las eficiencias agronómicas de cada método de riego, que son susceptibles de alcanzar, con un adecuado diseño y operación del sistema de riego elegido.

Tabla 3

eficiencias posibles de alcanzar con diferentes métodos de riego, en una situación óptima de diseño y operación.

Método de riego	E. aplicación	E almacenamiento	E distribución	E agronómica
Tendido				
bandeja	0.40	0.85	0.60	0.20
arcos	0.55	0.85	0.75	0.35
cordes	0.60	0.90	0.70	0.38
aspersión	0.90	1.00	0.85	0.76
goteo	0.95	1.00	0.90	0.86

En la Tabla 3 la eficiencia de utilización es la eficiencia agronómica, y sus componentes, han sido expresados en fracción decimal y podemos ver que los valores se ordenan de menor a mayor a medida que se tecnifica el método de riego; los valores de E_u , indican en buena medida qué proporción del agua realmente infiltrada en el perfil y retenida por el suelo, está en condiciones de ser retranspirada por todas las plantas del cultivo, a lo largo del campo regado.

Si en la evaluación de algún sistema de riego en particular se encuentran valores superiores a los mencionados en alguno de los componentes de la E_u , necesariamente este aumento irá a expensas del valor de los otros componentes, ya que los métodos de riego se diseñan con una eficiencia determinada. Si al evaluar el riego por surcos encontramos una eficiencia de aplicación de 0.80, porque no se ha perdido mucha agua por escurrimiento superficial al final del campo regado, tampoco ha habido percolación profunda exagerada en la cabecera, esto necesariamente indica que la distribución del agua a lo largo del campo no es muy adecuada, por otra parte, probablemente ese riego no fue necesario para reponer en el perfil el agua consumida por los cultivos, y llevar el contenido de agua hasta un valor cercano a capacidad de campo en la profundidad de la zona radicular.

En relación al tipo de suelo, método de riego y eficiencia de aplicación, Bos y Nutgeren (1974), resumen los resultados de una encuesta mundial de tecnología de riego, y al respecto señalan que el riego en suelos más livianos (con un contenido mayor de arena) es más eficiente que en suelos arcillosos, lo que estaría indicando que los problemas especiales con los que se encuentra el regador en suelos arenosos, son apreciados en toda su magnitud, y el diseño y operación se adaptan a pequeñas dimensiones del campo de riego y tiempos de riego adecuados a las características de infiltración del surco arenoso. Los suelos arcillosos son menos adecuados para el riego por aspersión, a menos que se disponga de aspersores de baja descarga, de tal manera que la velocidad de descarga no exceda la infiltrabilidad del suelo; en caso contrario se producen enegamientos superficiales y si el suelo tiene pendiente, se produce escurrimiento superficial. Los resultados del trabajo de Bos y Nutgeren en relación al tema presentado aquí, pueden resumirse en la Figura 2.

Figura 3.2

Eficiencia de aplicación del agua de riego en relación al método de riego y la textura del suelo.

Insertar Figura.

En los ejemplos de diseño y evaluación de métodos de riego, puede encontrarse una discusión más detallada acerca del tema de eficiencia, relacionado también con el costo de tecnificación implícito en un mejoramiento de la eficiencia.

TASAS DE RIEGO

La tasa de riego, definida en la ecuación 1, es la relación entre el uso-consumo del cultivo y la eficiencia de aplicación del agua de riego. Sin embargo, debido a que estos parámetros son funciones que varían en rangos de magnitudes diferentes, el efecto de una sobre o subestimación de ellos altera en forma diferente los valores de tasa de riego del cultivo (Gurovich, 1979). Más aún las relaciones de eficiencia de aplicación (E_a) y uso-consumo (UC) no son independientes sino que están efectivamente relacionadas a través de varios factores de carácter agronómico. Con una E_a comparativamente alta, que se acerque a la eficiencia de diseño del sistema de riego puede esperarse una mejor distribución de carga de agua aplicada en un riego individual, a lo largo del campo regado, lo que asegura un desarrollo más uniforme del cultivo y por lo tanto un UC mayor y más homogéneo entre todas las plantas del cultivo. Por otra parte, si el UC es elevado, como ocurre durante el verano, la frecuencia del riego, o sea el intervalo de tiempo que transcurre entre dos riegos consecutivos, es menor, y la eficiencia de riego tenderá a modificarse como consecuencia tanto del menor tiempo de riego, como de la acción mecánica del agua sobre la estructura del suelo, que en general tiene un efecto negativo sobre la velocidad de infiltración. Asimismo, el hecho de aplicarse frecuentemente cargas de agua comparativamente pequeñas, reduce la E_a para métodos de riego superficiales, por las dificultades prácticas de regular pequeños caudales en el terreno.

En muchos países se realizan esfuerzos considerables por definir "tasas de riego racionales y beneficiosas" para diferentes cultivos en zonas edafoclimáticas diversas. La estimación del Uso-consumo de los cultivos que fue analizada en detalle en el Capítulo anterior, asociada al diseño y operación de sistemas de riego, de tal forma de alcanzar la eficiencias óptimas señaladas en la Tabla 1, parece ser un enfoque más sencillo y lógico del problema, con una validez amplia y un impacto mayor sobre la producción agrícola, que simplemente hacer esfuerzos por dotar a una región de un volumen de agua determinado como "racional y beneficioso" sin preocuparse de mejorar las técnicas de aplicación del agua, esto es, sin mejorar la eficiencia. Existen varios sistemas complementarios para lograr un incremento de la eficiencia de aplicación del agua de riego por los usuarios a nivel regional, como ser, un esfuerzo concentrado en

encia técnica y extensión agrícola, una regularización de los caudales en los principales y secundarios, obteniendo una tasa de riego tal, que obligue al agricultor a usar el recurso más eficientemente; y por último implementar un sistema de precios al agua de riego, que la transforme en un insumo de valor que sea necesario utilizar en forma eficiente: a éste último punto nos referiremos en la continuación.

Estos sistemas de estímulo para el uso más racional del agua de riego, inciden directamente en la eficiencia de aplicación del agua del riego e indirectamente en la tasa de riego, solo tiene efecto si son continuos, se si aplican gradualmente y si los usuarios están directamente involucrados en su implementación como lo indica las múltiples experiencias en diferentes países de América Latina, especialmente en los Distritos de riego de Perú, México y Chile.

Valores de uso-consumo de $3700 \text{ m}^3 \text{ hectárea}^{-1}$ por temporada de riego para el cultivo del trigo y de $6400 \text{ m}^3 \text{ hectárea}^{-1}$ para el cultivo del maíz, por ejemplo, son frecuentes en el valle Central de la Zona Central de Chile. Si se aplicam a estos valores, las eficiencias de aplicación de la Tabla 3 para el riego por tendido o inundación y por surcos respectivamente para ambos cultivos, obtienen tasas de riego de 9250 m^3 por hectárea para el trigo y 11650 m^3 por hectárea para el maíz.

En la Tabla 4 se presentan algunos valores de Tasas de riego medidas en condiciones de campo y estimadas como probables con una eficiencia adecuada para los métodos de riego respectivos, en 4 grupos de cultivos de relevancia para la agricultura chilena, de un trabajo de Gurovich y Sánchez (1977).

Como puede observarse en la Tabla 4, el suelo arcilloso presenta una tasa de riego menor porque la eficiencia del riego es superior en este tipo de suelo, al compararlo con el suelo arenoso, sin embargo, la tasa de riego potencial, en el caso de cultivos regados por surco" como maíz o huertos frutales es superior a la tasa de riego actual. Ello se debe a que en general la eficiencia de aplicación que puede medirse en condiciones de campo es superior a la eficiencia de aplicación del sistema de riego, y efectivamente comprobarse que en la mayoría de los casos, no hay una reposición uniforme o completa del agua evapotranspirada por los cultivos regados por surco, lo que afecta la tasa de riego. Las disminuciones en las tasas de riego actuales en cultivos extensivos, que representan alrededor de un 30%, pueden destinarse a regar nuevas superficies agrícolas o a reforzar el riego de cultivos más rentables, actualmente regados en forma deficiente, ya sea por una tecnología de riego poco adecuada, o por una falta aparente o real de conservación de agua.

Tabla 4

Tasas de riego actuales y potenciales para la temporada
de riego en la zona central de Chile

Cultivo	Tipo de suelo	Tasa de riego actual m^3/ha	Tasa de riego potencial m^3/ha
. Trigo de	. Franco arenoso	15575	6208
. Invierno	. Arcilloso	12655	5900
. Empastadas	. Franco arenoso	25225	20553
	. Arcilloso	17236	16080
. Maíz	. Franco arenoso	9538	9824
	. Arcilloso	6847	11667
. Frutales y	. Franco arenoso	8761	9024
. Viñas	. Arcilloso	6915	11782

Debe señalarse además, que los datos de la Tabla 4 representan la eficiencia de riego efectivamente aplicada a los cultivos, sin considerar aquellos proporciones de los recursos hídricos de los predios que no es utilizada para el riego (por ejemplo, de la noche, fin de semana, etc.), la que en muchos casos representa hasta el 50% de las disponibilidades reales con que cuenta el predio. En ese sentido, existe una eficiencia de aprovechamiento del recurso agua que también puede ser aumentada significativamente, en la medida que se aumente el número de horas de riego diarias, o se embalse en pequeños estanques o reservorios prediales el agua que al llegar al predio, no se use inmediatamente para regar.

MANTENIMIENTO DE LA EFICIENCIA DE RIEGO Y EL PROBLEMA DEL PRECIO DEL AGUA.

Los métodos para cobrar un precio por el agua y transformarla en un instrumento de importancia económica en la agricultura, como una forma de estimular un aumento de la eficiencia de riego, varían entre diferentes países, y pueden ser clasificados de acuerdo a las filosofías generales que les sirven de base y justificación y que se relacionan con el objetivo del cobro:

- para cubrir los costos de operación del sistema hidráulico de riego.
- para cubrir parcial o totalmente el reembolso de la inversión realizada, así como los costos de operación del sistema.
- para asignar los beneficios del riego entre los agricultores y el resto de la comunidad.
- para cobrar el valor marginal, obligando al agricultor a pagar el valor real del agua, induciéndole una óptima utilización de este factor de la producción, tanto para el agricultor como para la comunidad.

Mientras en los dos primeros casos se acepta que la contribución del sector agrícola al crecimiento económico justifica subsidios de diferente magnitud por parte de la comunidad, el cobro al valor marginal está basado en teoría económica pura.

En la práctica, la forma de cobro por el agua toma muy variadas modalidades de implementación, como por ejemplo:

- Cobro fijo por agricultor, que puede ser una cuota única que cubra los costos de operación del sistema de riego (administración, limpieza y mantención de canales y obras de infraestructura mayor, etc).
- Cobro por agricultor en relación a su superficie regada que cubra los mismos costos anteriores.

diferenciado por agricultor, en relación a su superficie regada, el tipo de suelo (según alguna clasificación de uso potencial) y la ubicación dentro del valle, esto último en el sentido que los predios que se encuentran más cerca de las obras de embalse o derivación principales del sistema reciben menos beneficios que aquellos ubicados aguas abajo. Las mismas modalidades de cobro pueden utilizarse cuando, además de los costos de operación del sistema, se desea recuperar total o parcialmente la inversión realizada en la construcción de obras mayores e infraestructura de conducción y repartición del agua.

Asimismo, en vez de cobrar cuotas por agricultor, puede establecerse una modalidad diferente, al cobrarse el agua de riego de acuerdo al volumen de agua distribuido por el sistema o entregado a cada agricultor. En este caso, hay un incentivo para el agricultor para economizar (o sea, para mejorar su eficiencia de aplicación). El cobro de agua puede ser decreciente a medida que aumenta el consumo hasta un cierto límite, de acuerdo con la forma de la curva de demanda; los primeros metros cúbicos consumidos son de gran valor para el usuario y luego el precio va bajando, por volumen adicional consumido, siempre que el agricultor no sobrepase la capacidad de agua a la que tiene derecho: este cobro decreciente tiene por objeto estimular al agricultor a usar mayor cantidad de agua posible, del total de su dotación, y que debe ser establecida técnicamente en relación a las características edafoclimáticas y los cultivos a regar, sobre la dotación de agua del predio, el precio puede ser progresivamente más alto, de tal forma de limitar su consumo excesivo, haciendo que el costo del agua sea superior a los beneficios que pueda obtener el agricultor de este consumo adicional; en forma similar, pueden establecerse tarifas estacionales diferenciadas, cuando en las épocas de mayor demanda la dotación predial es escasa, de tal manera de estimular el riego de primavera (cereales y plantas anuales) o otoño (Viñas y olivos) por ejemplo, desincentivando el establecimiento de cultivos que demanden mucha agua en pleno verano, de tal forma que estos se circunscriban a los mejores suelos, que permiten un rendimiento mayor, capaz de cubrir los costos del agua estival.

En muchas regiones del mundo, la asignación o dotación de agua a los predios agrícolas no es volumétrica sino que representa una parte alícuota (proporcional) del caudal total disponible. Si este caudal es pequeño, especialmente durante el verano, se utiliza además el tiempo como otro criterio de asignación del agua (turnos de agua); durante el tiempo o turno de cada agricultor, se le otorga el caudal total disponible, lo que obliga a un riego muy rápido y por ende, poco eficiente. En este caso, la única alternativa viable es embalsar el agua del turno y utilizarla posteriormente durante un tiempo más prolongado. En

caso del turno de riego, el sistema de cobro se establece ya sea por superficie regada o por tiempo de entrega de agua, y en realidad no hay ningún estímulo para el agricultor, mejore su eficiencia de aplicación.

Los impuestos sobre los principales productos de una región, que son comercializados a través de cooperativas o por el Estado, como algodón, arroz, etc., es un método de cobro por el agua en el cual se distribuyen los beneficios del agua entre los agricultores y el resto de la comunidad. Esta forma de cobro y variaciones de ella, tiene la ventaja de ser sumamente sencilla en su aplicación, pero sus efectos estimulantes en el uso más eficiente del agua no son significativos por su efecto indirecto sobre las prácticas agronómicas de producción.

La implementación del cobro por el agua de riego cualquiera sea la modalidad elegida, de entre las discutidas en los párrafos anteriores, es bastante compleja y no siempre efectiva. Los cobros por superficie regada, en sus diversas alternativas, pueden realizarse junto con los impuestos territoriales (o contribuciones), por la organización administrativa que opera el sistema o por otro organismo especializado. En el caso del cobro volumétrico, que parece ser el que tuviera mayor efecto en producir un mejoramiento en la eficiencia de riego, el cobro es realmente complejo por la necesidad de medir y registrar los volúmenes de agua realmente entregados al agricultor, lo que requiere una infraestructura de medición y de organización cuyo costo puede ser bastante elevado. El cobro por el agua de riego, es el único medio para lograr un mejoramiento extensivo de la eficiencia de riego en una región. La experiencia ha demostrado que múltiples esfuerzos de extensión agrícola y capacitación no han sido suficientes para, por sí solos, estimular un uso más adecuado de los recursos de agua, pero cuando este esfuerzo ha sido asociado a un sistema de cobro directo por el agua de riego, efectivamente ha sido posible detectar mejoras significativas en las eficiencias de riego. Desgraciadamente, estas experiencias son pocas y no han sido continuas en el tiempo, por lo que no es posible presentar una cuantificación en este aspecto.

LITERATURA CITADA Y LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Bergmann, H. y Boussard I-H. Guide to the economic evaluation of Irrigation projects. Organization for economic cooperation and development 1976.
- Bos, M. G. y Nutgeren, I. On Irrigation Efficiencies. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Publication Nº 19. 1974.
- Gurovich, L. Conceptualización de la eficiencia de riego a nivel predial. Análisis de algunas situaciones en Chile. Ciencia e Investigación Agraria 5(4):213-224. 1978.
- Gurovich, L. Análisis Matemático del efecto de variaciones relativas de los componentes de la Tasa de Riego. Ciencia e Investigación Agraria 6(1):0-0. 1979. (En prensa).
- Hagan, R.M., Rijov, J.N., Aston, M.N., Bavel, C.M.H., van, Raheja, P.C., 1976. Water plant Growth and crop irrigation requirements. En: International source book on Irrigation and Drainage of Arid lands in relation to Salinity and Alkalinity Draft edition. pp.282-342-FAO/Unesco Roma-Paris.
- Jensen, M.E. Programming Irrigation for Greater Efficiency in "Optimizing the Soil Physical Environment Towards Greater Crop Yields" editado por Dr. Hillel. Academia Press. 1972.
- Jensen, M.E. , Swarner, L.R. y Phelan. I.T. Improving Irrigation Efficiencies en "Irrigation of Agricultural Lands" editado por R.M. Hagan. Agronomy Nº 11. 1967.
- Marshall, T-I. Efficient Management of Water in Agriculture en "Optimizing the Soil Physical Environment Towards Greater Crop Yields" editado por D. Hillel. Academic Press. 1972.
- Sánchez, C. 1978. Metodología de determinación de uso-consumo para datos agroclimáticos restringidos en relación a la tasa de riego de los cultivos. Tesis de grado. Universidad Católica de Chile.

Schmueli, E. Efficient Utilization of Water in Irrigation en "Arid Zone Irrigation" editado por B. Yaron, E. Daufors y Y. Vadia.
Springer - Verlag N. York. 1973.

Viets, F.G. Jr. 1965. Increasing water use efficientes by soil management.
En: Plant environment Soc. of Agron. and Soil Sci Soc of Amer.
Madison, Wisconsin.

Water Resources Scientific Information Center. Irrigation Efficiency. A
Bibliography. Vol. 1. Publication nº PB-220 349 1973.

Water Resources Scientific Information Center. Irrigation Efficiencies.
A bibliography. Vol. 2. Publication Nº 76-206 1976.

PARÁMETROS DE EFICIENCIA DE IRRIGACION Y SU DETERMINACION

2.1 Eficiencia de Irrigación - Ei

$$Ei = 100 \frac{WET}{WA}$$

WET = Agua evapotranspirada

WA = Agua aplicada

WET = a) Mediciones de contenido de agua en el suelo antes y después de cada irrigación.

WET = W después de riego - W antes del riego

W = L * A

L = lámina de agua en el suelo

A = superficie de la parcela

$$h = \sum_{i=1}^n (W \cdot Db \cdot H)$$

W = contenido gravimétrico de agua (fracción decimal)

Db = densidad aparente (gr/cm^3)

H = grosor de la estrata

n = número de estratas que tienen raíces

b) Estimación a partir de evaporación tanque

WET = E Tanque x K Tanque x K Cultura

$$K \text{ cultura} = \frac{WET}{ET_{Pot.}} = \frac{WET}{ET_{grama}}$$

ET_p = Evapotranspiración potencial (a partir de datos climáticos)

K cultivo = Tabulado para periodos de desarrollo del cultivo, para un regimen de riego óptimo.

WA = a) Medición continua del agua que entra al surco o parcela, (descarga del sifón = r (diámetro y la carga)) y del agua que sale al final del surco.

W = agua que entra - agua que sale

Referencia - Hagan et al. 1967. Water plant growth and crop irrigation requirements. In: International Source Book in Relation to Agriculture, FAO, Rome.

Eficiencia de aplicación de agua = E_a

$$E_a = 100 \frac{WET + W_e}{W_a}$$

W_e = Agua aplicada para lavado intencional de sales o aparte de la napa freática.

W_e = a) Medición del contenido de agua en estratas bajo la zona radicular antes y después del riego.

b) Estimación de percolación profunda a partir de ecuaciones de infiltración y tiempo de riego.

c) Aplicación de ecuaciones de drenaje.

Referencia - Jensen et. al. 1967. Improving irrigation efficiencies. in: Irrigation of agricultural Lands, Amer. Soc. of Agronomy, Monograph 11, 1120 - 1142.

3 Eficiencia de aplicación de agua corregida para lluvia = E_{ac}

$$E_{ac} = 100 \frac{WET + W_e - R_e}{W_a}$$

R_e = Lluvia efectiva

Referencia - Cuadernos FAO de Irrigación y Drenaje nº 26. "Effective Rainfall".

2.4 Eficiencia de Uso Consumo = E_{uc}

$$E_{uc} = 100 \frac{WD}{W_{uc}}$$

W_{uc} = WET para condiciones de riego óptimo (ver 2.1.b o considerar como óptimo el tratamiento regado más de acuerdo a la demanda evaporativa de la atmósfera, en el experimento analizado).

WD = WET para cada uno de los tratamientos del experimento (ver 2.1.a0).

$$E_{uc} \approx 1/K_c$$

Referencia - Jensen, V.L. 1968. New Concepts in Irrigation Efficiency. Amer. Soc. Agric. Engr. Trans. 81:75 - 81.

2.5 Eficiencia de aplicación de riego = Ear

$$Ear = 100 \frac{WAL}{WA}$$

WAL = Cantidad de agua de riego almacenada en la zona de raíces.

- a) Determinación a partir de muestras de suelos después del riego (Ver 2.1.a)
- b) Estimación a partir de ecuaciones de infiltración y tiempos efectivos de riego.

WA = Agua aplicada (Ver 2.1)

Referencia - Schnabel 1973 Physical Aspects of Soil Water and Salts in Ecosystems. Ecological Studies Vol. 4:339 - 350 SpringerVerlag N. York .

2.6 Eficiencia de uso del agua - Eu

$$Eu = \frac{R}{WET}$$

R = Rendimiento del cultivo (ton/hectárea)

WET = Lámina de agua evapotranspirada (cm)

- R =
- a) Peso seco total
 - b) Rendimiento en grano
 - c) Rendimiento en frutos de diferentes cualidades
 - d) Cualquier otro parámetro cuantitativo de rendimiento.

$$ET = WET/A$$

WET = Agua evapotranspirada (Ver 2.1)

A = Superficie de la parcela

Referencia - Viets, 1965, Increasing water use efficiency by soil management. In Plant Environment and efficient water use. editors: W. H. Pierre et. al pp. 259 - 274 Amer. Soc. of Agron. and Soil Sci. Soc. Amer; Madison Wisconsin.

2.7 Eficiencia Óptima de Riego - E opt

$$E_{opt} = \max \left[\frac{R}{W_a} \right]$$

E opt = el valor que alcanza la relación entre rendimiento (Ver 2.6) y el agua total aplicada en la temporada (Ver 2.1), al comparar tratamientos irrigados de un mismo experimento.

Referencia - Shmueli; E. 1973. Efficient Utilization of Water in Irrigation. in: Arid Zone Irrigation. Ecological Studies Vol.5:411-423 Springer Verlag. N. York.

5. EJEMPLO DE ANALISIS DE EFICIENCIA

"Efeito de diferentes niveis de irrigação na produção do tomate Industrial." Eliane N. Choudhury, Agustin A. Millar, Mohammad M. Choudhury e Tania A. Abreu 1978.

2.1 Eficiencia de Irrigación

Tratamiento	WET	WA	Ei
Niveles de Irrigación	(cm)	(cm)	(%)
(potencial, matricial, bares)			
- 0.3	62.6	64.7	96.7
- 1.0	58.2	57.0	102.0
- 2.0	54.2	48.8	111.0
- 3.0	47.0	50.7	92.7
- 5.0	45.1	49.6	90.9

2.2 Eficiencia de aplicación

Tratamientos	WET	We	WA	Ea
Niveles de Irrigación	(cm)	(cm)	(cm)	(%)
(potencial, matricial, bares)				
- 0.3	62.6	18.3	64.7	75.4
- 1.0	58.2	25.3	57.0	70.7
- 2.0	54.2	25.5	48.8	72.9
- 3.0	47.0	25.3	50.7	62.0
- 5.0	45.1	24.7	49.6	60.7

2.3 Eficiencia de aplicación corregida para lluvia. No hay lluvia durante la temporada del experimento.

2.4 a) Eficiencia de uso consumo - 1

Tratamientos Niveles de irrigación (potencial, matricial, bares)	Wuc_1 (cm)	WD (cm)	Euc_1
- 0.3	65.0	62.6	96.3
- 1.0	65.0	58.2	89.5
- 2.0	65.0	54.2	83.3
- 3.0	65.0	47.0	72.3
- 5.0	65.0	45.1	69.4

1 = Wuc de tablas de evapotranspiración.

2.4 b) Eficiencia de uso consumo - 2

Tratamientos Niveles de Irrigación (potencial, matricial, bares)	Wuc_2 (cm)	WD (cm)	Euc_2
- 0.3	62.6	62.6	100.0
- 1.0	62.6	58.2	93.0
- 2.0	62.6	54.2	86.6
- 3.0	62.6	47.0	75.1
- 5.0	62.6	45.1	72.0

2 = Se considera como óptimo el tratamiento A, que dió el mayor rendimiento.

2.5 Eficiencia de Aplicación de Irrigación

El sistema usado fue de surcos cerrados, por lo que no hay escurrimiento superficial. Las láminas de agua se calculan para reponer en el suelo justo la ET. Cuando hay excesos de agua, la percolación profunda se calcula a partir de las curvas de infiltración y del tiempo de irrigación efectivo.

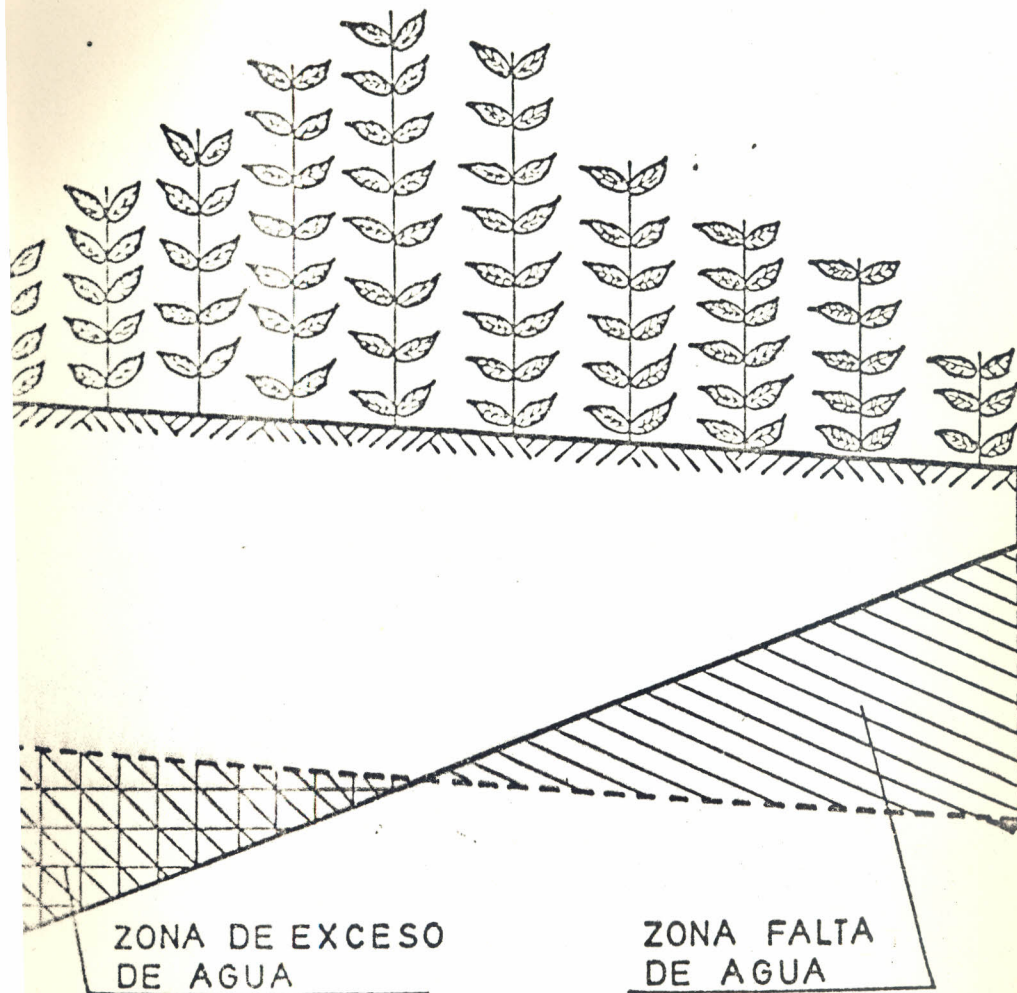
$$2.6 \text{ Eficiencia de Uso del agua } Eu = \frac{R}{ET}$$

Tratamiento	Rendimiento	WET	Eu
Niveles de irrigación (potencial, matricial, bares).	(ton/há)	(cm)	(ton/há-cm)
- 0.3	74.8	62.6	1.19
- 1.0	72.5	58.2	1.24
- 5.0	61.3	54.2	1.13
- 2.0	56.4	47.0	1.20
- 3.0	65.2	45.1	1.44

$$2.7 \text{ Eficiencia óptima de riego } Eopt = \max \left[\frac{R}{Wa} \right]$$

Tratamiento	Wa	R	Eopt
Niveles de Irrigación (potencial, matricial, bares)	(cm)	(ton/há)	(Ton/há-cm H ₂ O)
- 0.3	64.7	74.8	1.16
- 1.0	57.0	72.5	1.27
- 5.0	49.6	65.2	→ <u>1.31</u> ←
- 2.0	48.8	61.3	1.26
- 3.0	50.7	56.4	1.11

a. RIEGO POCO ADECUADO



b. RIEGO ADECUADO A LAS CARACTERISTICAS HIDROMECANICAS DEL SUELO.

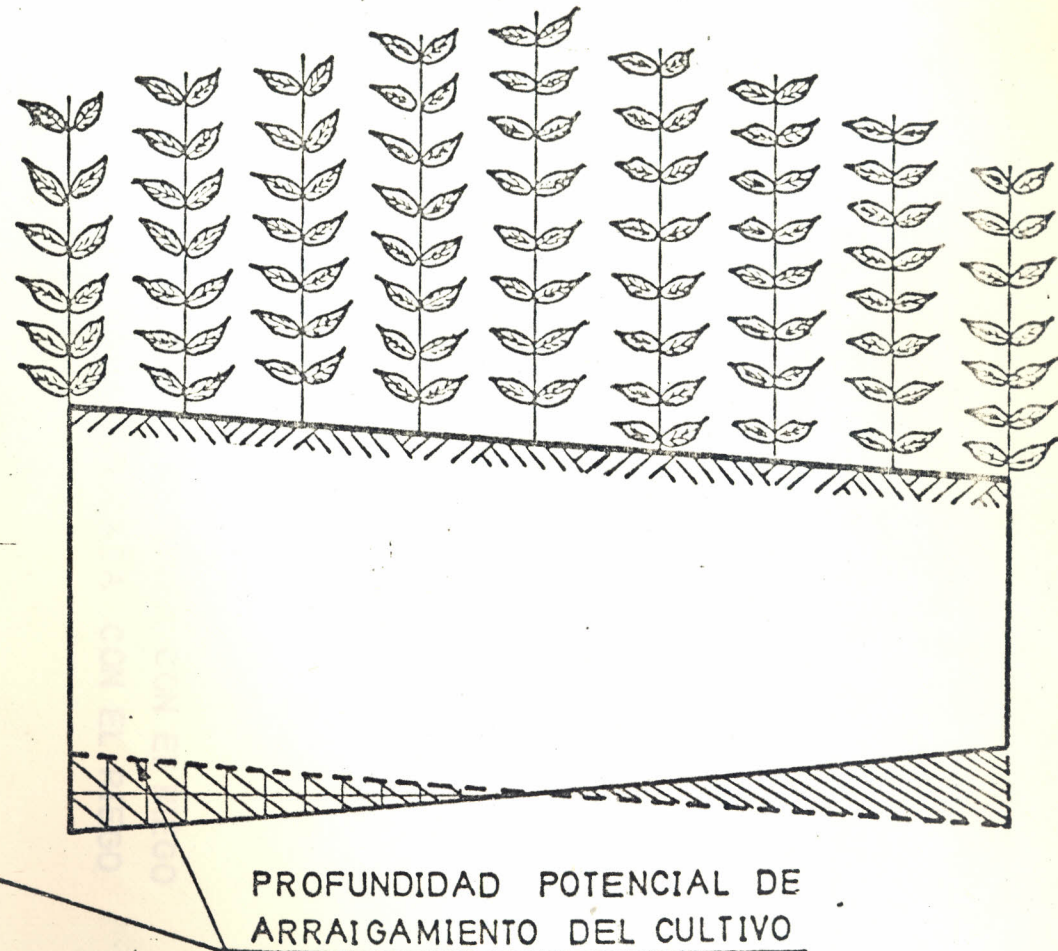


FIGURA: 8.1

PERFILES ESQUEMATICOS QUE RESULTAN DE DIFERENTES PRACTICAS DE RIEGO, EN RELACION CON LA EFICIENCIA

E_a = Eficiencia de aplicacion (suponiendo que no hay escurrimiento.)
 E_{al} = Eficiencia del almacenamiento.
 E_d = Eficiencia de distribucion

- 1 CARGA DE AGUA A REPONER CON EL RIEGO
- 2 CARGA DE AGUA APLICADA CON EL RIEGO

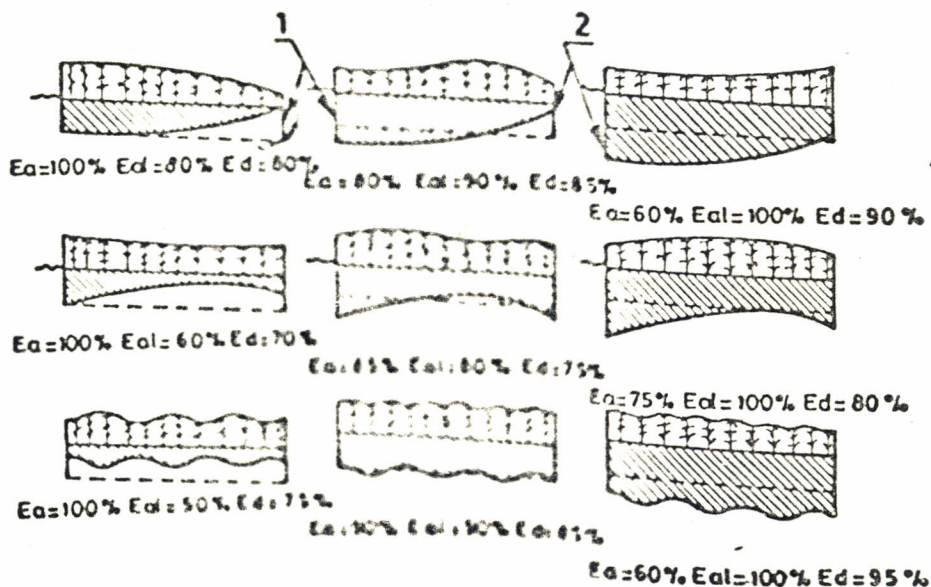
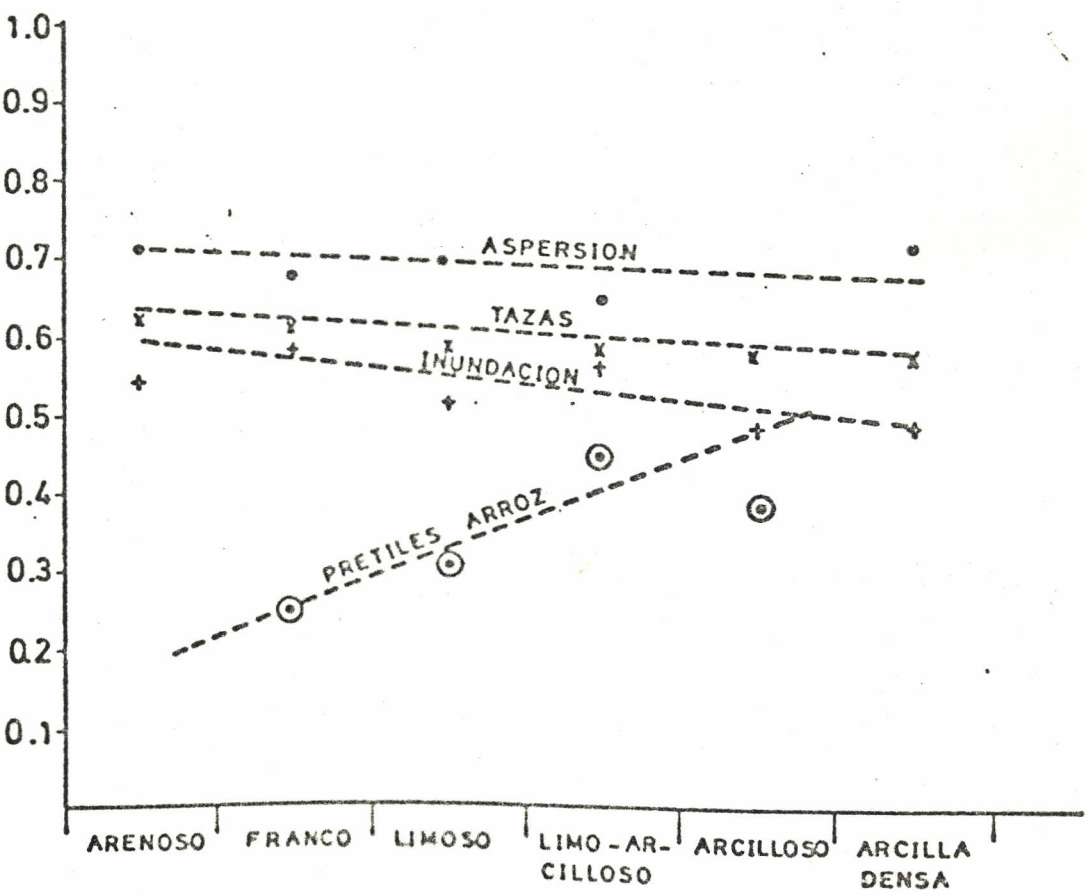


FIGURA : 8.2 EFICIENCIA DE APLICACION DEL AGUA DE RIEGO EN RELACION AL METODO DE RIEGO Y LA TEXTURA DEL SUELO



METODOLOGIA PARA DETERMINAR AS NECESSIDADES DE ÁGUA PARA CULTU-
RAS IRRIGADAS.^{1/}

Moacir Alves da Silva^{2/}
Eliane Nogueira Choudhury^{3/}
Luiz Alberto Gurovich^{4/}
Agustin A. Millar^{5/}

COMUNICADO TÉCNICO

(Enviado para ser apreciado pelo Comitê de Publicação do
CPATSA/EMBRAPA)

-
- ^{1/} Contribuição conjunta do Centro de Pesquisa Agropecuária do
Trópico Semi-Árido (CPATSA/EMBRAPA), Companhia de Desenvol-
vimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) e Superintendên-
cia do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), Petrolina-PE.
- ^{2/} e ^{3/} Eng^{OS} Agr^{OS}, M.S. Pesquisadores em Irrigação do CPATSA/
EMBRAPA, Cx. Postal, 23 - 56.300 - Petrolina-PE.
- ^{4/} e ^{5/} Eng^{OS} Agr^{OS}, Especialistas em Irrigação do IICA e Con-
sultores do CPATSA/EMBRAPA.

METODOLOGIA PARA DETERMINAR AS NECESSIDADES DE ÁGUA PARA CULTURAS IRRIGADAS

Moacir A. Silva

Eliane N. Choudhury

Luiz A. Gurovich

Agustin A. Millar

O Programa de Irrigação no Nordeste compreende 54 projetos, dos quais 34 estão localizados na Zona Semi-Árida sob a responsabilidade do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), ao passo que os 20 projetos restantes, situados no Vale do São Francisco, estão sob a responsabilidade da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF).

Estudos realizados dão como potencial irrigável para a região do Vale do São Francisco, cerca de 800.000 ha, levando-se em conta não somente o fator classes de solo, como também, os resultados hídricos disponíveis. Para o Vale, até dezembro de 1979, sob ação da CODEVASF haverá uma área de 50.329 ha em implantação e 38.072 ha em operação e sob a responsabilidade do DNOCS 43.0381 ha em implantação e 50.079 ha em operação (MILLAR, 1978.)

Por problemas do tipo hidráulico e operacional, estes projetos de irrigação deveriam ser operados sobre um conjunto de normas rígidas desde o ponto de vista agrícola quanto operacional, tais como:

- 1 - Frequência de irrigação fixa (constante) ao longo de todo o período de desenvolvimento de cada cultura.

- 2 - Lâmina de água aplicada fixa ao longo de todo o período de desenvolvimento da cultura.
- 3.- Método de irrigação de alta eficiência e de operação fácil e econômica.

Estas normas tem por objetivos utilizar mais racionalmente possível os recursos de água, porém com sistema de irrigação convencional, de tal forma a simplificar a operação dos canais de distribuição de água, para que a aplicação da irrigação seja uma operação econômica. Do ponto de vista agrônomo, isto significa que no início do ciclo se aplicam lâminas de água excessivas com respeito as necessidades da cultura e no final do ciclo, ou seja no período de colheita se aplicam lâminas deficitárias, situações que de uma ou outra forma afetam os rendimentos dos cultivos.

A determinação das lâminas de água a aplicar e da frequência de irrigação das culturas é de grande importância para que os rendimentos diminuam o mínimo possível, em curto prazo por efeito de excessos ou déficit de água e ao longo do tempo, ou seja, de um ano a outro, por efeito de drenagem deficiente, salinização dos solos e problemas mecânicos de compactação por excesso de umidade.

Neste trabalho é apresentada uma metodologia para determinar as lâminas de água a aplicar e a frequência de irrigação para diferentes culturas, em projetos de irrigação, e áreas ribeirinhas ao Rio São Francisco, baseada em dados de solo e clima.

MATERIAL E MÉTODO

Normalmente no manejo da irrigação a nível parcelar, as

As necessidades de água dos cultivos são definidas em função de da-
ta evaporação do tanque USWB e do coeficiente de cultura K_c =
... SILVA e HILLAR (1979), em seu trabalho Evapotranspira-
to feijão, concluíram que os coeficientes de cultivo obtidos
HARGREAVES (1976) e DOORENBOS & PRUIT (1975), não podem ser u-
das diretamente no manejo da irrigação, quando se usa a e-
ção do tanque USWB, para definição das necessidades de á-
ra as culturas.

Com a finalidade de definir a metodologia proposta nes-
balho, foram utilizados os coeficientes de cultivo obtidos
HARGREAVES (1976), em função da evapotranspiração da grama
- ETA/ETG).

Baseados em dados de evaporação do tanque e evapotrans-
da grama obtidos em lisímetros por ARAGÃO e ARAÚJO (1975),
correu-se corrigir os coeficientes de cultivo de HARGREAVES.

Definição dos termos: HARGREAVES (1976)

ETA = Evapotranspiração atual, real da cultura

ETP = Evapotranspiração potencial, estimada a partir
de dados climáticos e definida, como sendo a eva-
potranspiração de um cultivo sob uma superfície
totalmente coberta de vegetação verde, densa, ras-
teira, com ativo crescimento, não afetadas por
pragas e doenças e que não esteja em condições
de stress hídrico (ET grama).

$$K_c = ETA/ETP, \text{ considerando-se que:} \quad (1)$$

$ETP = ETG$, temos:

$$K_c = ETA/ETG \quad (2)$$

$$K_c = ETA/E_t \quad (3)$$

E_t = Evaporação do tanque USWB

Levando em considerações os termos estabelecidos por ENVES (1976), definiu-se o termo K_c em função das equações (3):

$$K_c' / K_c = \frac{ETA/E_t}{ETA/ETG} = ETG/E_t = \alpha \quad (4)$$

Com os dados disponíveis em literatura de (ETG) e da região do Sub-Médio São Francisco, determinou-se que o α , é uma constante ao longo dos meses do ano. (Tabela

Tabela 1. Dados de Evapotranspiração da grama, evaporação do tanque USWB e o coeficiente α .

MESES	ETG mm/dia	E_t mm/dia	α
Janeiro	4.73	9.53	0.50
Fevereiro	3.92	7.57	0.52
Março	3.23	6.28	0.51
Abril	3.42	6.57	0.52
Maior	3.14	6.30	0.50
Junho	4.57	8.23	0.55
Julho	4.25	8.16	0.52
Agosto	5.35	10.20	0.52
Setembro	5.30	9.90	0.53
Outubro	5.45	10.30	0.52
Novembro	6.70	11.52	0.58
Dezembro	5.05	10.23	0.51
Média Mensal	4.59	8.73	0.52 ± 0.02

$$E_t = 1.189 + 1.642 ETG \quad R^2 = 0.999$$

$$ETG = -0.742 + 0.609 E_t \quad R^2 = 0.999$$

Como o valor de (α) é constante, pode-se definir o coeficiente de evapotranspiração das culturas (K_c'), a partir de dados da literatura, obtidos em função da relação clima e evapotranspiração da grama (ETG), de maneira a poder relacionar diretamente como mostra a equação {4}, a evaporação do tanque (E_t), obtida na estação metodológica, com a evapotranspiração das culturas.

Para definição das lâminas de água a aplicar, além dos coeficientes de cultivo, utilizou-se dados de características físico-hídricas dos solos do Projeto de Irrigação do Bebedouro, obtidos por CHOUDHURY e MILLAR (1979), solos aluviais das margens do rio São Francisco, obtidos por MILLAR (1975) e características agrícolas das diversas culturas (época de plantio e profundidade efetiva do sistema radicular das culturas em cada tipo de solo).

RESULTADOS

Nas tabelas 2,3 e 4 são apresentadas os coeficientes de cultivo corrigidos para os diversos estágios de crescimento das culturas. Enquanto na tabela 5 estão contidos os dados de profundidade efetiva do sistema radicular das culturas e teor de umidade no solo para definição da lâmina de reposição e momento de irrigação. Encontram-se nas tabelas 6, 7, 8 e 9 os dados de lâmina líquida de reposição, evapotranspiração atual, frequência de irrigação e lâmina real de reposição para os latossolos Unidade 37 AA, 37 AB, 37 BB e solos aluviais do Vale do São Francisco, respectivamente. Os períodos de cultivo e evaporação do tanque USWB; classe A, estão presentes na tabela 10. Finalmente, na tabela 11 são apresentados os métodos de irrigação recomendados para as diferentes culturas e suas respectivas eficiências de aplicação.

TABELA 3. Coeficientes generalizados, K_c' , para estimar ETA.

Cultura	K_c média com cobertura total	K_c média p/todo o ciclo
Culturas extensivas e oleaginosas como feijão, mamona, milho algodão, linho(fibra), amendoim, batata, açafrão, soja, sorgo, beterraba, torate e trigo.	0,60	0,47
Citros	0,39	0,39
Frutas caducifólias (pêssego, ameixa e noz)	0,49	0,36
Frutas caucifólias invasoras.	0,65	0,52
Uva	0,39	0,31
Alfafa	0,70	0,52
Gramma	0,52	0,52
Trevo	0,60	0,52
Adubo verde	0,57	0,59
Cana-de-açúcar	0,65	0,52
Hortaliças	0,60	0,44

TABELA 4. Coeficiente da Cultura, K_c para culturas extensivas e hortaliças.

Cultura	Meio-Ciclo	Na Colheita
Cevada	0,60	0,10
Faijão (saco)	0,60	0,13
Cenoura	0,57	0,42
Mamona	0,60	0,26
Milho	0,60	0,31
Algodão	0,62	0,34
Crucíferas (couve, etc)	0,55	0,47
Beringela	0,55	0,44
Linho	0,57	0,10
Alface	0,52	0,47
Melão	0,52	0,39
Milheto	0,57	0,39
Aveia	0,60	0,10
Cebola (seca)	0,55	0,42
Amendoim	0,55	0,31
Ervilha	0,60	0,57
Pimentão	0,55	0,44
Batata	0,60	0,39
Rabonete	0,44	0,42
Açafrão	0,60	0,10
Sorgo	0,57	0,29
Soja	0,57	0,23
Espinafra	0,52	0,49
Abóbora	0,49	0,39
Berverrapa	0,60	0,31 - 0,52
Cirassol	0,60	0,18
Tomate	0,62	0,34
Trigo	0,60	0,10

TABELA 5. Profundidade de raízes e teores recomendados de utilização da umidade disponível antes do início da irrigação.

Cultura	Profundidade em metros (R_r)	Irrigação necessária quando a seguinte percentagem da água disponível for consumida (P_s).
Alfafa	1,20-1,80	50%
Alfajão	0,60	30%
Baterraba	0,60-0,90	40% - 50%
Bepolho	0,60	30%
Cenoura	0,45-0,60	35 - 50%
Milho	0,60-1,20	30%
Algodão	0,90-1,20	50%
Papino	0,45-0,60	30%
Grão (incluindo sorgo)	0,60-0,75	50%
Uva	0,90-1,50	50%
Alface	0,30	30%
Abacaxi	0,60-0,75	30%
Abóbora	0,30-0,45	30%
Frutas de pomar	0,90-1,80	50%
Feijão	0,45-0,75	50%
Mendocino	0,45	30 - 35%
Arroz	0,60-0,75	30 - 35%
Abacate	0,60	30 - 35%
Abacate	0,60	30 - 40%
Morango	0,30-0,45	30%
Abacate doce	0,75-0,90	30%
Abacate	0,75	50%
Abacate	0,30-0,60	30 - 40%

TABELA 6. Lâminas de água e frequência de irrigação recomendadas para o latossolo, Unidade 37 AA (Bebedouro).

Cultura	Lâmina líquida de reposição (cm)	$ETA = \bar{E}_t \times K_c$ (cm. dia ⁻¹)	Frequência (dias)	Lâmina real a aplicar (cm)
Alfafa	4.34 - 6.27	0.87 x 0.52	9.5 - 14	7.23 - 10.45
Feijão	2.01	0.83 x 0.47	5	2.51
Batatinha	3.02 - 4.39	0.88 x 0.44	8 - 11	2.27 - 5.35
Arroz	2.01	0.83 x 0.44	5	2.51
Cana-de-açúcar	2.01 - 2.69	0.87 x 0.44	5 - 7	2.51 - 3.36
Milho	2.01 - 3.76	0.74 x 0.60	4.5 - 8.5	2.51 - 6.27
Algodão	4.33 - 6.27	0.39 x 0.60	9 - 12	6.97 - 10.45
Perútil	1.51 - 2.01	0.88 x 0.44	4 - 5	1.39 - 2.67
Grão-de-bico	3.43 - 4.07	0.74 x 0.47	10 - 12	4.97 - 6.73
Jaca	4.33 - 6.27	0.87 x 0.39	14 - 18	6.97 - 12.54
Alface	1.04	0.87 x 0.44	3	1.30
Cebola	1.04 - 1.51	0.86 x 0.44	3 - 4	1.30 - 2.01
Quiabo	3.36 - 6.27	0.87 x 0.49	3 - 15	4.80 - 12.54
Castanha	2.52 - 4.07	0.87 x 0.60	5 - 8	6.30 - 13.57
Amendoim	1.51	0.87 x 0.47	4	1.39
Ervilha	2.01 - 2.44	0.47 x 0.47	5 - 6	2.51 - 3.49
Batata	2.01	0.33 x 0.44	5	2.51
Soja	2.35	0.88 x 0.47	6	2.94
Mamão	1.04 - 1.51	0.33 x 0.44	2.5 - 4	1.30 - 2.01
Beterraba doce	2.44 - 2.93	0.88 x 0.44	6 - 7.5	4.07 - 4.33
Fumo	4.07	0.33 x 0.44	10.5	5.31
Abacate	1.21 - 2.35	0.88 x 0.44	3 - 6	1.51 - 3.36
Abacaxiz	2.01 - 3.41	0.34 x 0.44	5 - 7	2.51 - 3.49

TABLE 7. Lâminas de água e frequência de irrigação recomenda-
das para o Latossolo, Unidade 37 A3 (Bebedouro).

Cultura	Lâmina líquida de regação (cm)	ETA= $\bar{E}_t \cdot Kc$ (cm.dia ⁻¹)	Frequência (dias)	Lâmina real a aplicar (cm)
Alfafa	1.33 - 7.43	0.37.0.52	10.5 - 16.5	3.05 - 12.5
Alfafa	2.04	0.33.0.47	5	2.55
Botaninha	3.06 - 4.89	0.33.0.44	3 - 12.5	4.07 - 6.52
Brusca	2.04	0.33.0.44	5.3	2.55
Cenoura	2.04 - 2.71	0.37.0.44	5.3 - 7	2.54 - 3.39
Feijão	2.04 - 4.43	0.74.0.60	4.5 - 10	2.54 - 7.46
Algodão	5.43 - 7.43	0.39.0.60	10 - 14	7.76 - 12.46
Pequi	1.53 - 2.04	0.33.0.44	4 - 5.3	1.90 - 2.90
Grão	3.39 - 4.53	0.74.0.47	10 - 13	4.35 - 7.54
Java	5.43 - 7.43	0.37.0.39	16 - 22	7.76 - 14.95
Alface	1.13	0.37.0.44	3	1.41
Cebola	1.13 - 1.53	0.36.0.44	3 - 4	1.41 - 2.19
Feijão	3.39 - 7.43	0.36.0.49	3 - 17	4.35 - 14.95
Pastagem	2.54 - 4.52	0.37.0.60	5 - 9	6.36 - 15.09
Amendoim	1.53	0.37.0.47	4	1.91
Ervilha	2.04 - 2.72	0.37.0.47	5 - 7	2.55 - 3.39
Batata	2.04	0.33.0.44	5.3	2.55
Soja	2.33	0.33.0.47	5.7	2.93
Morango	1.13 - 1.53	0.33.0.47	2.5 - 4	1.40 - 2.04
Batata doce	1.72 - 3.36	0.33.0.44	7 - 3.5	3.33 - 5.43
Fumo	4.53	0.33.0.44	11.7	6.47
Tomate	1.31 - 2.33	0.33.0.44	3.5 - 6.5	1.64 - 3.39
Alho	2.04 - 2.72	0.34.0.44	5.5 - 7.5	2.55 - 3.39

TABELA 3. Lâminas de água e frequência de irrigação para a 1ª
 classe, Unidade 37 BB (Bebedouro).

Cultura	Lâmina líquida de reposição (cm)	$ETA = \bar{E}_t \cdot K_c$ (cm. dia ⁻¹)	Frequência (dia)	Lâmina real de reposição (cm)
Alfafa	5.09 - 6.33	0.67 x 0.52	11 - 14	3.46 - 10.55
Feijão	2.26	0.33 x 0.47	5.5	2.33
Bataterola	3.39 - 4.53	0.38 x 0.44	9 - 12	4.52 - 6.10
Repolho	2.26	0.33 x 0.44	6	2.33
Canavieira	2.26 - 3.02	0.37 x 0.44	6 - 8	2.33 - 3.78
Milho	2.26 - 3.30	0.74 x 0.60	5 - 9	2.33 - 6.33
Algodão	5.09 - 6.33	0.39 x 0.60	9.5 - 12	7.27 - 10.55
Pepino	1.70 - 2.26	0.38 x 0.44	4 - 6	2.13 - 3.23
Crão	3.77 - 4.25	0.74 x 0.47	11 - 12	5.39 - 7.03
Uva	5.09 - 6.33	0.87 x 0.39	15 - 19	7.27 - 12.66
Alface	1.24	0.87 x 0.44	3	1.55
Cebola	1.24 - 1.70	0.86 x 0.44	2 - 4	1.55 - 2.27
Mamão	3.77 - 6.33	0.87 x 0.49	9 - 15	5.39 - 12.66
Pastagem	2.33 - 4.25	0.87 x 0.60	5.5 - 8	7.03 - 14.17
Limão-limão	1.70	0.37 x 0.47	4	2.13
Ervilha	2.26 - 2.55	0.87 x 0.44	6 - 7	2.33 - 3.64
Batata	2.26	0.38 x 0.47	5.5	2.33
Soja	2.64	0.68 x 0.47	6.5	3.30
Morango	1.24 - 1.70	0.83 x 0.44	3 - 4	1.55 - 2.27
Batata-doce	2.55 - 3.06	0.33 x 0.44	7 - 8	3.65 - 5.10
Fumo	4.25	0.35 x 0.44	11	6.07
Tomate	1.45 - 2.64	0.38 x 0.44	3.5 - 7	1.31 - 3.64
Melão	2.26 - 2.55	0.34 x 0.44	6 - 7	2.33 - 3.64

TABELA 9. Lâmina de água e frequência de irrigação recomendadas para os solos aluviais do Vale do São Francisco.

Cultura	Lâmina líquida de reposição (cm)	$ETa = \bar{E}_t \times Kc'$ (cm.dia ⁻¹)	Frequência (dia)	Lâmina real de reposição (cm)
Alfafa	1.92 - 6.57	0.87 x 0.52	11 - 14.5	3.20 - 10.95
Feijão	1.79	0.86 x 0.47	5	2.46
Beterraba	1.96 - 4.44	0.86 x 0.44	7.5 - 11.5	3.95 - 5.92
Repolho	1.97	0.86 x 0.44	-	2.46
Caruru	1.97 - 2.63	0.87 x 0.44	5 - 7	2.46 - 3.29
Milho	1.97 - 3.94	0.74 x 0.60	4.5 - 9	2.46 - 6.57
Algodão	4.93 - 6.57	0.89 x 0.60	9 - 12	7.04 - 10.95
Pequi	1.48 - 1.97	0.83 x 0.44	4 - 5	1.85 - 2.31
Grãos	3.23 - 4.10	0.73 x 0.47	9 - 12	4.61 - 6.83
Uva	4.93 - 5.57	0.87 x 0.39	14.5 - 19	7.04 - 13.14
Alface	0.99	0.87 x 0.44	2.5	1.24
Cebola	0.99 - 1.43	0.86 x 0.44	2.5 - 4	1.24 - 1.97
Amor	3.23 - 6.57	0.87 x 0.49	7.5 - 15.5	4.60 - 13.14
Pastagem	2.46 - 4.10	0.87 x 0.60	5 - 9.5	6.15 - 13.67
Maniôca	1.43	0.87 x 0.47	3.5	1.35
Brinjal	1.97 - 2.46	0.87 x 0.47	5 - 6	2.46 - 3.07
Bitata	1.97	0.88 x 0.44	5	2.46
Soja	2.30	0.86 x 0.47	5.5	2.90
Arroz	0.99 - 1.43	0.83 x 0.44	2.5 - 4	1.24 - 1.97
Bacaba doce	2.46 - 2.96	0.86 x 0.44	6 - 7.5	3.51 - 4.93
Pão-de-álcool	4.10	0.83 x 0.44	10.5	5.36
Tomate	1.15 - 2.30	0.83 x 0.44	3 - 6	1.44 - 3.29
Abóbora	1.95 - 2.46	0.83 x 0.44	5 - 6.5	2.46 - 3.51

TABELA 10. Meses de cultivo.

Cultura	Época	E_t mm/dia
Alfafa	Todo ano	8.73
Feijão	Maio - outubro	8.84
Beterraba	Maio - outubro	8.84
Repolho	Maio - outubro	8.84
Cenoura	todo ano	8.73
Milho	Novembro - abril	7.35
Algodão	Abril - novembro	8.89
Pepino	Maio - outubro	8.84
Grão	Novembro - abril	7.35
Uva	todo ano	8.73
Alface	todo ano	8.73
Melão	Maio - outubro	8.84
Cebola	Maio - setembro	8.61
Frutos pomar	todo ano	8.73
Pastagens	todo ano	8.73
Amendoim	todo ano	8.73
Ervilha	todo ano	8.73
Batata	Maio - outubro	8.84
Soja	Maio - outubro	8.84
Arroz	Maio - outubro	8.84
Batata doce	Maio - outubro	8.84
Fumo	Maio - outubro	8.84
Tomate	Maio - outubro	8.84

TABELA 11. Métodos de irrigação e eficiência de aplicação em
 ocasião lavagem de sais.

Cultura	Método de irrigação	Eficiência de aplicação (%)
Alfafa	Borões	60
Feijão	Sulco fechado	30
Beterraba	Sulco fechado	75
Amendoim	Sulco fechado	30
Cenoura	Bacias	30
Milho	Sulco fechado	30 - 60
Algodão	Sulco fechado	70 - 60
Pequi	Sulco fechado	30 - 70
Grão (sorgo)	Sulco fechado	70 - 60
Uva	Sulco fechado	70 - 50
Alface	Bacias	30
Molho	Sulco fechado	30 - 70
Cebola	Sulco fechado	30 - 75
Frutas pomar	Sulco fechado	70 - 50
Castanhas	Borões	40 - 30
Amendoim	Sulco fechado	30
Ervilha	Sulco fechado	30 - 70
Batata	Sulco fechado	30
Soja	Sulco fechado	30
Abacaxi	Sulco fechado	30 - 75
Batata doce	Sulco fechado	70 - 60
Fumo	Sulco fechado	70
Tomate	Sulco fechado	30 - 70

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Com bases em dados de clima (evaporação do tanque USWB, Classe A), de solo (características físico-hídricas), da cultura (período de desenvolvimento e profundidade potencial do sistema radicular), pode-se estabelecer a lâmina média de água a aplicar e a frequência de irrigação em um projeto de irrigação em operação fixa ou constante.

São apresentados os dados necessários, assim como o critério de irrigação e o valor K_c para estabelecer a perda diária real de água pela cultura. No entanto, para projetos de irrigação em implantação, torna-se necessário a determinação dos parâmetros abaixo:

1. Características físico-hídricas do solo
2. Profundidade de enraizamento potencial da cultura
3. A relação entre a ET_{grama}/E_{tanque}

É necessário realizar pesquisas mais detalhadas relativas a profundidade efetiva do sistema radicular de cada cultura, para cada tipo de solo, a relação E_{tanque}/ET_{grama} , percentagem de água perdida por percolação profunda, necessária para uma boa lavagem dos sais e a distribuição de água no perfil do solo ao longo de um sulco fechado, com certa pendente.

BIBLIOGRAFIA

- ARAGÃO, O. P. de & ARAÚJO, J. P. de. Relações entre a evaporação e transpiração potencial da alfafa (Medicago sativa) e grama (Sporobolus secundatum) com tanque classe A sob diferentes exposições. Anais do III Seminário de Irrigação e Drenagem 1:92-95, 1975.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W. Crop water requirements. Rome, FAO. Irrigation and Drainage paper 24, 1975. 179 p.
- CHAUDHURY, E. N. & MILLAR, A. A. Características físico-hídricas de três solos latossolos irrigados do Projeto Bebedouro. Petrolina-PE, CPATSA/EMBRAPA, 1979, 13 p.
- HARGREAVES, G. H. Climatic zoning for agricultural production in Northeast Brazil. Logan, Utah State University, 1976. 6 p.
- _____. Irrigation requirements and precipitation deficits for Brazil. Logan, Utah State University, 1975. 50 p.
- MILLAR, A. A. Programa de Pesquisas Prioritárias em tecnologia de irrigação para o Nordeste. Brasil, IICA-OEA, 1973, 39p.
- SILVA, M. A. de & MILLAR, A. A. Evapotranspiração do feijão de corda. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 17. Manaus, 1979. Resumos. Manaus, SBCS, 1979. p. 23.

RELACION DE SEMINARIOS OFRECIDOS DURANTE LA CONSULTORIA

FECHA	TEMA	ASISTENTES
5.08.79	Métodos de Irrigación.	Estudiantes de la Facultad de Agronomía de Juazeiro.
13.08.79	Análisis de Sistemas aplicado a la evaluación de Sistemas de Producción.	Personal de CPATSA.
3.09.79	Análisis cuantitativo de los resultados de pesquisa en Manejo de Suelo y Agua.	Personal de CPATSA.
14.09.79	Métodos de Irrigación Superficiales.	Personal del Proyecto Sertanejo. Convenio EMBRAPA - Sundene.
17.09.79	Eficiencia de Irrigación	Personal de CPATSA
4.10.79	Infiltración del agua en el Suelo.	Estudiantes de la Universidad Federal de Paraíba - Campina Grande.
8.10.79	Conservación de la capacidad productiva de los suelos irrigados.	Personal de CPATSA.
15.10.79	Funciones de Producción del agua en sistemas de producción bajo irrigación.	Personal de CPATSA.
22.10.79	Adaptación de la pesquisa de Manejo de Suelos y Agua a los problemas actuales de los perímetros irrigados.	Personal de CPATSA.