

PACAD

computador RN OK

Algunas consideraciones sobre manejo  
del suelo y del agua para el desa-  
rrollo de la agricultura tradicional  
en Nordeste de Brazil

8078

Por: Aderaldo de Souza Silva  
Manuel Anaya Garduño

Algunas consideraciones sobre  
1979 LV - 1979.00243



8078 - 1

0 m...  
ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE MANEJO DEL SUELO Y DEL  
AGUA PARA EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA TRADICIONAL  
EN EL NORESTE DE BRAZIL

Por: Aderaldo de Souza Silva \*  
Manuel Anaya Garduño \*\*

REQUISITO PARCIAL DEL EN \*  
TRENAMIENTO EN "MANEJO  
DEL SUELO Y DEL AGUA"

MAYO-JUNIO 1979

---

\* Ing. M.C. Investigador en manejo del suelo y del agua de  
(CPATSA/EMBRAPA), Petrolina, PE., Brasil.

\*\* Profesor-Investigador de la Rama de Suelos del C.P., Cha-  
pingo, México, México.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Manuel Anaya Garduño, por su valiosa ayuda durante los estudios sobre desertificación, y orientación en la realización de este Informe Técnico-Científico, así como mi Profesor Consejero del entrenamiento sobre manejo del suelo y del agua para zonas áridas y semiáridas, en la Rama de Suelos del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

El agradecimiento se hace extensivo a los Dres. Everardo Aceves Navarro, Enrique Palacios Vélez y a los Ings. M.C. Luis Rendón Pimentel, Jorge Leonardo Tovar Salinas, Jaime Alberto R. Contreras y Alejandro Trueba Carranza, respectivamente, por sus valiosas sugerencias en los aspectos de manejo del suelo y del agua bajo condiciones de riego.

A la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria - EMBRAPA, al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas - IICA, al Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Semi-árido y al Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, Instituciones que hicieron posible la realización de este entrenamiento.

A la Sra. Ma. de Jesús Picazo, por su colaboración en la mecanografía de este trabajo.

## CONTENIDO

Capítulo		Pág.
I	INTRODUCCION.....	
II	ANTECEDENTES Y JUSTIFICATIVOS.....	
	2.1. La desertificación.....	
	2.1.1. Objetivos y estrategias de las Naciones Unidas sobre la desertificación.....	
	2.1.2. El costo de la desertificación a nivel mundial.....	
	2.2. La tecnología para combatir la desertificación.....	
	2.2.1. Principios básicos de combate.	
	2.2.2. Problemas y tecnologías para diferentes sistemas de uso de la tierras susceptibles a la desertificación.....	
	2.2.3. Clasificación y evaluación de algunas tecnologías de combate a la desertificación.	
	2.3. El trópico semiárido del Noreste Brasileño.....	
	2.3.1. Clasificación climática.....	
	2.3.2. Zonificación para la agricultura bajo "DRY FARMING".....	
	2.3.3. Recursos hídricos para los "Sistemas agrícolas con agua de escurrimiento superficial" (SAES).....	
	2.4. Investigaciones en desarrollo en (CPATSA/EMBRAPA) sobre manejo del suelo y del agua en condiciones de secano.....	

	2.4.1. Sistemas agrícolas a través de escurrimiento superficial (SAES).....
	2.5. Limitaciones en las investigaciones sobre manejo del suelo y del agua de combate a la desertificación.....
	2.5.1. Limitaciones teóricas.....
	2.5.2. Limitaciones económicas.....
	2.5.3. Conclusiones.....
III	HIPOTESIS.....
IV	ALGUNAS TECNICAS SOBRE MANEJO DEL SUELO Y DEL AGUA PARA ZONAS SUSCEPTIBLES DE DESERTIFICACION.....
	4.1. Topografía en el Sistema (SAES).....
	4.2. Manejo del suelo y del agua.....
	4.2.1. Captación del agua de lluvia..
	4.2.1.1. Ecuación para el cálculo de microcuencas (Anaya <u>et al</u> ).
	4.2.1.1.1. Ejemplos de aplicación de la fórmula de (Anaya, <u>et al</u> ).....
	4.2.1.2. Captación del agua de lluvia en el sistema (SAES).....
	4.2.1.2.1. Captación de lluvia para tanques de almacenamiento en el sistema (SAES).
	4.2.1.2.2. Algunos aparatos utilizados en el sistema (SAES).....
	4.2. Métodos no convencionales de riego para el desarrollo de la agricultura tradicional.....
	4.3.1. Riego por succión.....
	4.3.1.1. Calibración de un modelo <u>ma</u> temático.....
	4.3.1.2. Utilización de aguas saladas.

- 4.3.2. Riego por jarro de barro.
- 4.3.2.1. Descripción del método.
- 4.3.2.2. Instalación del sistema.
- 4.3.2.3. Recomendación.

V	CONCLUSIONES.....
VI	RECOMENDACIONES.....
VII	BIBLIOGRAFIA.....
VIII	APENDICE.....

## PREFACIO

En Noreste de Brazil, existe una gran variabilidad de factores de orden físico, biológico y socio-económico, los cuales han contribuido para disminuir el desarrollo agrícola y ganadero de la región.

Por otra parte, el agricultor tradicional a nivel de subsistencia, rechaza fuertemente las nuevas tecnologías, fundamentalmente por no entender claramente la justificación de una determinada práctica, ya que las tecnologías modernas no han considerado sus condiciones sociales y económicas.

Sin embargo, el "Centro de Pesquisa Agropecuaria do Trópico Semi-Arido" (CPATSA/EMBRAPA), en Petrolina, PE., Brazil, considera conveniente la conjugación de la tecnología moderna con los sistemas tradicionales, a través de un equipo interdisciplinario e interinstitucional. Para lo cual se hace necesario el análisis de los sistemas tradicionales, y la formulación de hipótesis de trabajo que, al ser sometidas a comprobación experimental aportarán la información que permita la conjugación deseada con los elementos de la tecnología ciéntífica, logrando principios de manejo y sistemas de producción más eficientes y efectivos, en concordancia con las necesidades actuales de los pequeños agricultores.

Por este motivo, la preocupación al desarrollarse este trabajo sobre técnicas de investigación en manejo del suelo y del agua para las regiones de baja precipitación en Noreste de Brasil (250 al 600 mm anuales), fue con el objetivo de introducir algunas experiencias desarrolladas en México y otros países, incluso Brasil, por investigadores abocados a esta problemática al subproyecto "Desarrollo de Sistemas de Producción con el agua de escurrimiento superficial" (Run off Farming Systems), perteneciente a uno de los Programas de Investigación del CPATSA/EMBRAPA.

Por lo antes expuesto, se consideró conveniente establecer un programa de entrenamiento para investigadores de EMBRAPA. La fase de entrenamiento en manejo del suelo y del agua, fue realizada en la Rama de Suelos del C.P., Chapingo, México, a través de estudios teóricos sobre desertificación y acompañamiento intensivo de campo a los trabajos que están siendo desarrollados por la Sección de Física de Suelos, en "Captación del agua de lluvia y Conservación del Suelo, Manejo de Cuencas y Desertificación".

Además, como requisito parcial del entrenamiento fue planeado y elaborado este informe técnico sobre algunas técnicas de investigación que actualmente viene desarrollando México y otros países, las cuales ofrecen gran posibilidades al desarrollo de la agricultura tradicional del Noreste de Brasil.

## I. INTRODUCCION

Aproximadamente el 86% de la superficie mundial dedicada a la producción de cultivos anuales y perennes, unos 1.232 millones de hectáreas es de temporal (Anaya, 1977). En la mayor parte de esta superficie se presentan reducciones en los rendimientos de cultivos debido al daño por sequía, que ocurre con distintas magnitudes y con frecuencias que varían de región a región. Sin duda, las pérdidas de cosechas causadas por la sequía contribuyen más que cualquier otro factor, a la desnutrición de la población de subsistencia en estas zonas temporales.

Desafortunadamente las regiones agrícolas y ganaderas de los Estados de Piauí, Ceará, Río Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe y Bahía, en Noreste de Brasil, presentan gran magnitud de las pérdidas de cosechas debidas a la sequía. Sin embargo, en esta área se encuentra más de 1.5 millones de km<sup>2</sup>, en los cuales viven más de 28 millones de personas (Weniger, 1974), siendo la densidad demográfica de 18.6 hab/km<sup>2</sup>. Además en esta región la agricultura es de tipo tradicional (CPATSA, 1978 y Liu, 1978).

Entre tanto es conveniente resaltar la importancia de la ubicación del "Centro de Pesquisa Agropecuaria de Trópico Semi-Arido"

(CPATSA/EMBRAPA), en 1975, en la ciudad de Petrolina, Pe., Brasil como Institución generadora de la tecnología capaz de brindar los beneficios económicos que requieran los agricultores tradicionales. El CPATSA encuentrase instalado al centro del trópico semiárido en Noreste de Brasil.

Convencionalmente los científicos en agronomía han definido las necesidades de investigación de los pequeños agricultores de manera simplista (Laird, 1977), mismo que, razonablemente atinada en el caso de los productores comerciales, puede ser deficiente cuando la población a la cual se pretende beneficiar, está formada por agricultores de subsistencia. Por este motivo y basados en otras aportaciones científicas de muchas partes del mundo, la investigación agrícola y de ganadería a cambiado substancialmente en Brasil, en los últimos 5 años, una vez que, está direccionada al enfoque sistemático (Queiroz, 1978).

En base a lo anteriormente expuesto, el CPATSA/EMBRAPA entre otros proyectos de investigación existente, encuentrase desarrollando uno subproyecto de "Sistemas de producción que utiliza el agua de escurrimiento superficial", en regiones de precipitación entre 250 a 600 mm anuales. El objetivo principal de este subproyecto es generar tecnología sencilla a los pequeños agricultores, para lograr que sus actividades en sistemas agrícolas sean más redituables.

Como el subproyecto mencionado anteriormente, es lo más susceptible a los riesgos debido a la sequía, y como venimos de desarrollando investigaciones sobre lo mismo, este estudio constituye nuestra preocupación central, con fines de adicionarse a las técnicas de investigaciones existentes, algunas que viene desarrollando México y otros países, incluso Brasil. Aún que, considerarse que los estudios deberán ser interdisciplinarios e interinstitucionales, así mismo relacionados con las actividades de los sistemas agrícolas y de ganadería tradicionales.

## II ANTECEDENTES

Según la conferencia de las Naciones Unidas sobre la Desertificación, más de la tercera parte de la superficie de la tierra es un desierto o un semidesierto y más del 15% de la población mundial viven en esas zonas. También informa que el hombre ha producido de desiertos (9.115.00 km<sup>2</sup>), una superficie mayor que la del Brasil. Además, unos 30.000.000 de kilómetros cuadrados (el 1% de la superficie de la tierra) están amenazadas por la desertificación, incluso Noreste de Brazil, como puede observarse en la Fig. 1. El cual tiene un alto grado de riesgo de desertificación (ONU, 1978).

De los trabajos reportados en la conferencia sobre la Desertificación, y basados en los desarrollados por (CPATSA, 1978), (Weniger, 1977) y (Liu, 1978), es posible establecer la existencia de las siguientes insuficiencias principales con respecto a la evaluación de las condiciones, tendencias y características de los sistemas de zonas áridas y semiáridas de Noreste de Brazil:

(i). Escasa comprensión de los complejos sistemas que determina el clima y su relación con las actividades del hombre.

(ii). Conocimientos incompletos acerca de la compleja relación suelo-agua-biota en las tierras áridas, y semiáridas en especial las relacionadas con:

RIESGOS DE DESERTIFICACION

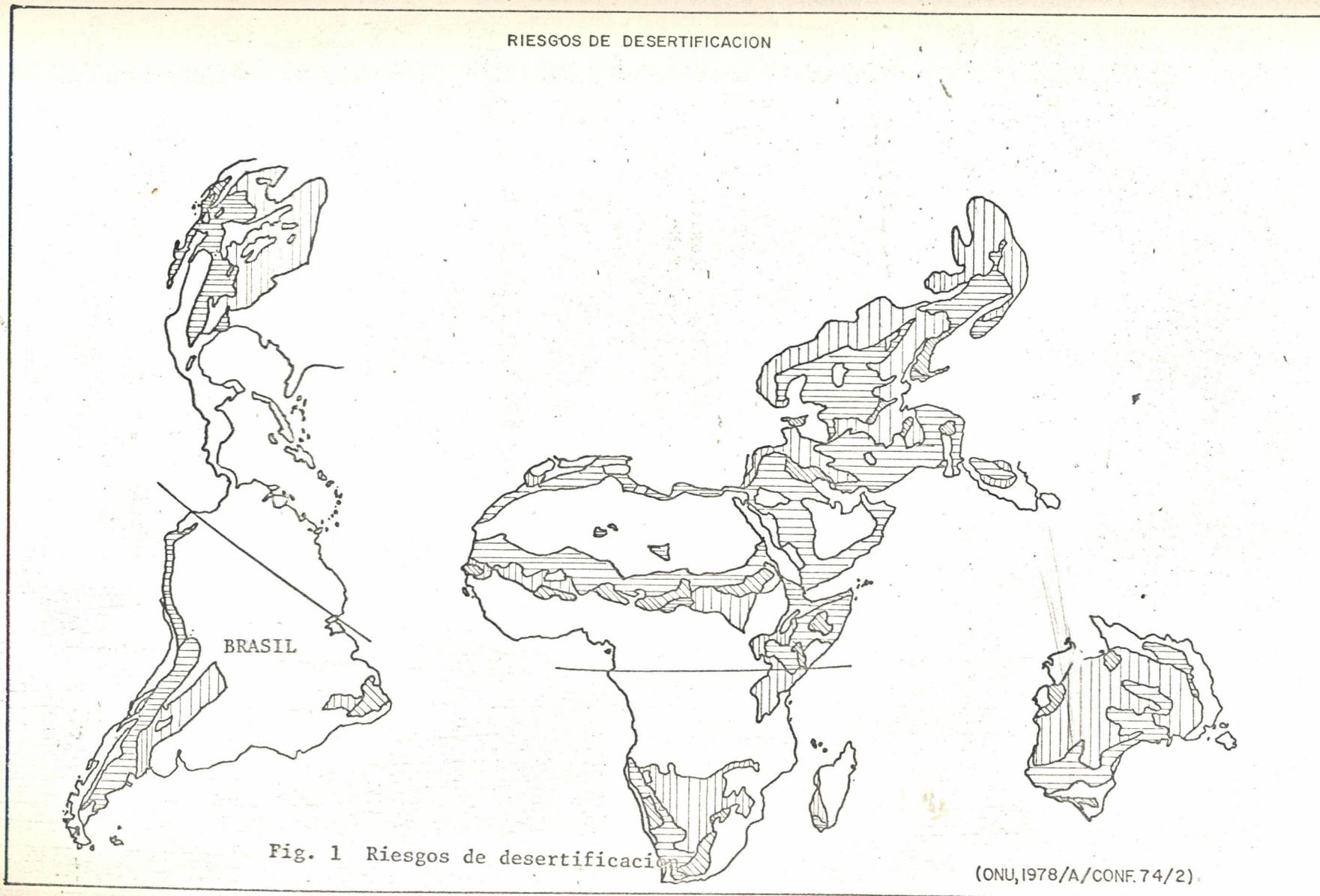


Fig. 1 Riesgos de desertificación

(ONU, 1978/A/CONF. 74/2)

▨ Muy alto    ▨ Alto    ▨ Moderado

- (a). El aprovechamiento racional de los recursos hídricos para la agricultura;
- (b). Las formas no convencionales de riego y cultivo de secano;
- (c). Las especies agrícolas más adecuadas para las zonas áridas;
- (d). La ordenación de la ganadería y los pastizales;
- (e). La base científica para la conservación del suelo, la captación de aguas y la utilización de aguas salinas.
- (f). La aplicación de los resultados de los estudios sobre los niveles adecuados de consumo y reutilización del agua en los diversos sectores de la economía;
- (g). La aplicación de técnicas perfeccionadas de almacenamiento, conservación y distribución de agua.
- (h). La asignación de prioridad a las actividades encaminadas a apoyar el desarrollo de tecnologías que aprovechen plenamente la experiencia y los recursos locales.
- (i). La preparación de un inventario de los sistemas tradicionales de captación y distribución de aguas, y su mejoramiento por medios de técnicas apropiadas.

## 2.1. La Desertificación.

La desertificación en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas es fácil de ser identificada, a través de lo que sucede en el sector superficial donde el suelo y la atmósfera entran en contacto, donde las plantas crecen y donde se mantiene el equilibrio entre la energía que llega y la que sale y entre el agua que se recibe y la que pierde.

Las condiciones en las tierras áridas y semiáridas, están estrechamente ligadas con la desertificación pero existe, por cierto, una diferencia fundamental: Las tierras áridas y semiáridas son ecosistemas (ONU, 1978), mientras que la desertificación es un proceso con consecuencias negativas para la productividad. Por lo tanto, la ordenación racional de los ecosistemas de tierras áridas y semiáridas con miras a asegurar una productividad sostenida, involucra la aplicación de medidas contra la desertificación; a su vez, el control de la desertificación es esencial para maximizar la productividad de las tierras áridas y semiáridas.

Según (Anaya, 1979), un aspecto interesante que favorece el avance de la desertificación en el mundo y en América Latina, es la Agricultura de Temporal (sequeiro), o mejor, los usos de las tierras que dedican o que están bajo condiciones de temporal, generalmente se habla nada más de agricultura, pero se debe pensar que los pastizales

Y los bosques que también están bajo condiciones de temporal.

En America en general se tienen 339 millones de hectáreas cultivadas, de ellas el 92% está bajo condiciones de temporal, quiere decir que, solamente el 8% está bajo condiciones de riego (Anaya, 1979), este 8% quiere decir alrededor de 30 millones de hectáreas en America de los cuales más del 50% están en Estados Unidos.

México tiene actualmente alrededor de 5 millones de hectáreas bajo riego, quiere decir que el resto de los países de America Latina tienen menos de 10 millones de hectáreas bajo riego, donde Brazil tiene un poco más de 0.5 millón de hectáreas, lo cual indica que la producción de alimentos están sujetas a la distribución, cantidad de la lluvia y éso hace que esta agricultura de temporal en general sea de tipo extensivo y de bajo rendimiento, ésto dá una idea de la importancia de los estudios en manejo del suelo y del agua para condiciones de temporal.

En algunas zonas áridas y semiáridas de Noreste de Brazil sometidas a la desertificación, se observa que las áreas de cultivos de secano han sufrido los primeros contactos de la desertificación por la erosión en cárcavas y en láminas, la erosión eólica, el desplazamiento de arena y la salinización. Entre las prácticas que han llevado a la degradación se cuenta el pastoreo, el corte de leña y el

cultivo excesivos, el barbecho en descubierto, la pulverización a la compactación de la capa superficial y el tratamiento mecánico excesivo, entre otras prácticas. Las consecuencias han sido menores rendimientos y pérdidas de tierras productivas, con las consiguientes penurias económicas, materiales y sociales, unidas a menudo a altas tasas de emigración.

#### 2.1.1. Objetivos y estrategias de las Naciones Unidas sobre la Desertificación.

(i). Objetivos: a).- Detener y controlar los procesos de desertificación;

b). Rehabilitar territorios que alguna vez fueron productivos;

c). Mejorar la calidad del agua y la producción pecuaria en estos sistemas ecológicos;

#### (ii). Resumen de la estrategia

a). Colaboración con diversos organismos para mejorar la calidad del agua y su ordenación ecológica en tierras áridas y semiáridas.

b). Contribución a la difusión de los conocimientos disponibles sobre ecosistemas de tierras áridas y tierras de pastoreo para

asegurar el empleo racional de sus recursos y formación del estado de los conocimientos con el fin de identificar las lagunas existentes;

c). Desarrollo de planes a largo plazo con el fin de ofrecer otros enfoques distintos en la ordenación de dichos ecosistemas.

d). Capacitación y educación de los habitantes de esos ecosistemas para conseguir que comprendan mejor el medio en que viven y promover así su participación en la ejecución de planes adecuados de desarrollo;

e). Apoyo a la investigación sobre los procesos y el funcionamiento de esos ecosistemas por conducto de instituciones nacionales o, preferiblemente regionales;

f). Coordinación y estímulo de los programas a largo plazo del sistema de las Naciones Unidas en esta esfera.

#### 2.1.2. El costo de la desertificación a nivel mundial.

Durante muchos años, varias organizaciones de las Naciones Unidas se han dedicado a evaluar problemas de los ecosistemas de tierras áridas y semiáridas y la magnitud de los efectos de la desertificación, calculados los estudios en base a los costos y beneficios aproximados, análisis y mapas de aprovechamiento de la tierra ya existen-

tes, extrapolando datos de proyectos, y celebrando consultas a la comunidad científica internacional, debido a la falta de un conjunto más amplio de datos precisos que el que actualmente se tiene.

En el Cuadro I presentase la estimación de la superficie total de tierras según el tipo de tierra a la forma de aprovechamiento. También las pérdidas anuales de producción agrícola bruta que resulta de comparar las condiciones actuales de desertificación relativa de la tierra con una condición potencial de no desertificación; la cifra final se acerca a los 16.000 millones de dólares anuales.

Por otra parte, presentase en el Cuadro II la pérdida anual de valor de la tierra debida a la desertificación en marcha, y los costos anuales de la rehabilitación. Según, las Naciones Unidas, los dos Cuadros miden valores diferentes; de ahí que las cifras sean distintas. El Cuadro I representa pérdidas anuales de producción bruta que podrían recuperarse con el tiempo mediante medidas correctivas apropiadas. Entre tanto las pérdidas anuales de Cuadro II podrían evitarse mediante inversiones apropiadas a lo largo de varios años.

El efecto neto de estas inversiones mencionadas anteriormente, sería el de detener la desertificación. Si se hicieran gastos adicionales, se obtendrían mayores beneficios mediante la recuperación de tierras desertificadas y la reducción de su superficie.

Cuadro 1. El costo de la desertificación a nivel mundial: pérdidas anuales actuales de valor de la producción agrícola debidas a la desertificación pasada.

	Superficie afectada por la desertificación (millones de hectáreas).	Pérdida total de producción anual potencial debida a la desertificación (& 1/	Valor anual de la pérdida de producción potencial (millones de dólares).
Falta de drenaje	21	20	1 680
Salinización	20	20	1 600
Deterioro de tierras de pastoreo	3 200	60	6 720
Deterioro de tierras de cultivos de secano	250	25	5 625
			<u>15 625</u>

1/ Sobre la base de los siguientes valores estimados de ingreso bruto promedio por hectárea de tierra no desertificada: tierras de regadío, 400 dólares; tierras de pastoreo, 3,50 dólares; tierras de cultivos de secano, 90 dólares.

En resumen, el Cuadro II, demuestra que las pérdidas que las medidas correctivas tienden a impedir ascienden a unos 900 millones de dólares anuales. Los costos de las medidas correctivas se calculan en unos 400 millones de dólares por año, de donde dichos programas rinden un beneficio neto de aproximadamente 500 millones de dólares anuales.

En base a los datos presentados en los Cuadros I y II, se puede concluir que ambos cuadros muestran un panorama relativamente promisorio, en el sentido de que las inversiones atinadas y otras medidas apropiadas producirán aumentos de ingresos o de valor de la tierra que sobrepasan los costos involucrados, aunque, revelen un gran problema de desertificación.

Cuadro . Cálculos preliminares de los costos y beneficios de las medidas correctivas con la desertificación

(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	Tasa anual de degradación de tierras (miles de hectáreas)	Valor estimado Si no se las recupera (dólares por hectárea).	Si se las recupera	Si se las recupera	por hectarea (4)-(3) (dólares)	Beneficio total 2 x (5) (millones de dólares)	Costo estimado de la recuperación 2/ por hectárea (dólares)	Costo total (2) x (7) (millones de dólares)	Beneficio neto por hectárea (5)-(7) (dólares)	Beneficio neto total (2)x(9) (millones de dólares)
De regadío	125	200	1 500	1 300	162	650 (250-2000)	81	650	81	
De pastoreo	3 200	5	40	35	112	20	64	15	48	
De cultivos de secano	2 500	50	300	250	625	100 (50-150)	250	150	375	
<b>Total</b>	<b>5 825</b>				<b>900</b>		<b>395</b>		<b>504</b>	

1/ Tierras áridas y semiáridas únicamente. El total se estima en aproximadamente 4.000 millones de hectáreas, de las cuales 210 millones tienen riego. 3.600 millones corresponden a tierras de pastoreo y 250 millones a tierras de cultivo de secano.

2/ Las cifras entre paréntesis representan intervalos de costos de rehabilitación.

## 2.2. La tecnología para combatir la desertificación.

La tecnología para el desarrollo de la agricultura tradicional en Noreste de Brazil, en base a las investigaciones sobre manejo adecuado del suelo y del agua no es tarea fácil. Esta región tiene gran concentración de población aproximadamente 33 millones de personas, y esta expuesta a los efectos de la desertificación principalmente en las zonas áridas y semi-áridas, en donde se encuentran generalmente los grupos marginados. Estas zonas son las más propensas al proceso de desertificación y es necesario que el suelo y otros recursos naturales sean manejados racionalmente y con tecnologías propias a los planes de acción a corto y largo plazo además de contar con la participación entusiasta de los agricultores y pequeños ganaderos.

Según (Anaya, 1978), la selección y aplicación de tecnologías para combatir la desertificación en los diferentes países, incluso Brazil, estará basada en la educación y motivación de la población local, la disponibilidad de personal técnico bien preparado y el nivel de inversión y de tiempo dedicado para recuperar áreas específicas que estén en proceso de deterioro. Además acredita que ningún sistema tecnológico, sea este sofisticado o práctico tendrá éxito a menos que se ponga cuidadosa atención a los programas educativos y de adies-

tramiento, a través de los cuales se difunda la información necesaria.

Sin embargo, la tecnología, que puede ser positiva ó negativa, juega un papel importante en este proceso de interacciones entre el hombre y su ambiente. Los sistemas de producción agropecuaria reciben actualmente una mayor atención con el fin de hacer reversible el proceso de desertificación y aumentar la productividad; sin embargo existen numerosos casos en los cuales la tecnología ha producido más daño que beneficio, y Anaya 1978, cita como ejemplo: el mal manejo del agua de riego, la sobre explotación de los acuíferos, los sistemas deficientes de drenaje, los azolves debido a la eliminación de la cubierta vegetal en las partes altas de las cuencas, las pérdidas de fertilidad del suelo debido a sistemas agrícolas erróneos, la reducción de la producción vegetal del suelo y la localización inapropiada de los puntos de abastecimiento de agua para el ganado. En el Cuadro 3 se anotan algunos de los procesos físicos y biológicos que causan la desertificación.

Además, parece ser que los sistemas adecuados de manejo del complejo suelo-agua-planta y atmósfera, combinados con la aplicación correcta de la tecnología ofrecen las mejores perspectivas para un combate exitoso contra la desertificación.

Cuadro . Procesos físicos y biológicos que causan desertificación

CAUSAS	PROBLEMAS
Agua	
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Escasa precipitación</li> <li>* Errática y mala distribución de la lluvia</li> <li>Mal manejo del agua de riego</li> <li>Superexplotación de mantos acuíferos y de almacenamientos superficiales</li> <li>Pérdidas de agua</li> <li>* Errática y mala distribución de la lluvia</li> <li>Deficientes sistemas de drenaje</li> <li>* Escurrimientos superficiales sin control</li>   <li>Desconocimiento del uso consuntivo</li> <li>Nivelación deficiente de las tierras</li> <li>Distribución inadecuada del agua</li> <li>Métodos inadecuados de riego</li> <li>Inadecuada distribución de las parcelas</li> </ul>	<p>Escasez de Agua</p> <p>Mal manejo del agua de lluvias en áreas de temporal</p> <p>Mal manejo del agua de riego</p>
* Errática y mala distribución de la lluvia	Falta de control de los escurrimientos superficiales
Suelo	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de la cubierta vegetal</li> <li>* Erosión geológica</li> <li>* Escurrimientos no controlados</li> <li>Sedimentación y azolves</li> <li>Degradación de la estructura del suelo</li> <li>Labranza inadecuada</li> <li>Erosión eólica</li> <li>Disminución de la profundidad del perfil del suelo</li> <li>Pérdida de fertilidad del suelo superficial</li> <li>Lixiviación</li> <li>Reducción de la capacidad de retención de la humedad</li> </ul>	Erosión
<ul style="list-style-type: none"> <li>Acumulación excesiva de sales</li> <li>Riego excesivo</li> <li>* Calidad del agua</li> <li>Prácticas deficientes de lavado</li> <li>Mal manejo del agua de riego</li> <li>Sistemas inadecuados de drenaje</li> <li>* Escurrimientos sin control</li> </ul>	Salinidad y drenaje deficiente

Cuadro . Continuación.

---

C A U S A S

P R O B L E M A S

Planta

Agricultura de roza-tumba-quema

Desmontes

Sobrepastoreo

Invasión por plantas indeseables

Recolección incontrolada de leña

Tala inmoderada

Reducción de la cubierta  
vegetal

Fuego

\* Sequía

---

\* Causas naturales.

### 2.2.1. Principios básicos de combate.

Tres principios básicos deberán tomarse en cuenta para determinar las tecnologías más eficiente para combatir la desertificación en Noreste de Brazil (Anaya, 1979).

Inicialmente, es necesario dar prioridad a los sistemas de producción menos deteriorados. Esto es especialmente importante cuando las limitaciones económicas son severas, ya que inversiones bajas producirán ganancias satisfactorias en períodos cortos de tiempo y que podrán ser reinvertidas para aumentar la productividad gradualmente.

El segundo principio consiste en tomar conciencia de la importancia de la tecnología de carácter intermedio.

Algunas características de la tecnología de carácter intermedio, son las siguientes: 1) Capacidad para conjugar la tecnología antigua con la experiencia moderna; 2) Costos reducidos (ésto es importante en países en desarrollo con poco capital para la inversión); 3) Mínimos efectos dañinos sobre el ecosistema; y 4) Utilización más eficiente de la materia prima y la mano de obra local.

Tercero, las tecnologías tradicionales desarrolladas por las comunidades, así como otros sistemas de vida, deberán ser consi

deradas antes de establecer nuevos sistemas de uso de la tierra ya que ellos han sido probados a través de largos procesos de experimentación de error y acierto y representan las bases para el manejo adecuado de los recursos naturales. Frecuentemente esta experiencia local proporciona el punto de partida para combatir la desertificación y para generar desarrollo. Además, cuando la tecnología tradicional se complementa con la intermedia y moderna se contará con la suficiente capacidad técnica para pasar, de un sistema extensivo a un sistema intensivo de producción.

#### 2.2.2. Problemas y tecnologías para diferentes sistemas de uso de las tierras susceptibles a la desertificación.

Aún con el mejor uso de la tecnología tradicional y moderna, los problemas pueden presentarse en cualquier sistema de uso de la tierra. Cuando estos problemas generan una degradación física y biológica se pueden agrupar en cinco categorías: i) Escasez de agua; ii) Manejo del agua de riego; iii) Erosión del suelo; iv) Reducción de la cubierta vegetal y de la productividad animal y v) Escasez y mal uso de la energía.

##### (i). Escasez de agua.

La estabilidad de los sistemas de producción en Noreste de Brazil, bajo condiciones de temporal, depende de las características de la lluvia, como la fuente de agua principal, los procesos para controlar la desertificación requerirán la aplicación en gran escala de la tecnología disponible (NAC, 1974).

El manejo de la escorrentía para zonas áridas y semi-áridas representa una de las tecnologías más promisorias. Recientemente, esta técnica ha sido aplicada en Israel, Tripolitania, Túnez y otros países (Le Houerou, 1975), para mejorar los rendimientos unitarios de cultivos básicos, forrajeros y árboles frutales. El control de la escorrentía y la desviación del agua proveniente de pequeños arroyos sobre las praderas y tierras agrícolas han producido beneficio al reducir la erosión hídrica y han aumentado la eficiencia en el uso de esta agua que, de otra forma, sería desperdiciada y podría causar daño en lugar de beneficio.

Las técnicas de captación de agua de lluvia consiste en concentrarla en el área de siembra, dedicando para ello una área de escurrimiento y ésta pueda utilizarse para cultivos en hileras, cultivos densos y para árboles; también permite almacenar agua durante un período de barbecho para ser utilizado por el cultivo en el próximo año (Anaya, 1977).

Estas tecnologías se complementan con prácticas de cobertura utilizando residuos de las cosechas y otros materiales los cuales reducen las pérdidas por evaporación.

(ii) Manejo del agua de riego.

La agricultura bajo riego es costosa y requiere amplia experiencia, así como la consideración de precauciones muy específicas para hacerla permanente. Sin embargo la selección cuidadosa de

las técnicas disponibles de riego que consideran la búsqueda de la eficiencia en el uso del agua bajo diferentes condiciones y que además consideran los factores sociales y económicos, podrá resolver los problemas de la disminución de la productividad de los sistemas de producción. En el Cuadro 4, presentase la comparación entre las producciones promedios obtenidas en Brazil (kg/ha), y los rendimientos obtenidos en Valle del Río "Sao Francisco", bajo estación experimental y en escala comercial, para algunos cultivos (Siqueira, 1978).

Los avances en la tecnología de irrigación como por ejemplo, los sistemas de riego por goteo (Real, 1974), de aspersión (Splitner, 1976), demuestran las ventajas de la alta eficiencia en el uso del agua en aquellas situaciones donde el alto costo de estos métodos de riego pueden ser superados. Las técnicas que requieren menos inversión pero mayores cantidades de mano de obra, tales como riego por surcos y melgas pueden también ser utilizadas para que el sistema de producción sea permanente (N.A.C. 1974).

El CPATSA/EMBRAPA en Brazil, y otras instituciones de varios países, están desarrollando métodos no convencionales de riego de alta eficiencia en el uso del agua, donde los primeros resultados demuestran la posibilidad técnica de aplicación en zonas áridas y semiáridas (Silva et al., 1979 y Rendon, 1979).

Sin embargo, al considerar cualquier método de riego es necesario calcular cuidadosamente, para tener el éxito los requerimientos de riego y de drenaje mediante estudios científicos de la cali-

Cuadro 3. Rendimientos de algunos cultivos en Brazil y en el Valle del "Sao Francisco" bajo riego

Cultivos	Rendimientos promedios (kg/ha)		
	Brazil	Agricultura bajo riego en el Valle del Río "Sao Francisco".	
		Experimental	Comercial
Algodón herbáceo	841	2.300	2.000
Frijol (en grano)	584	1.500	1.200
Maíz (en grano)	1.424	5.500	3.000
Melón (fruto)	1.750	22.000	15.000
Sandía (fruto)	-	38.000	30.000
Cebolla	6.196	35.000	25.000

dad del agua, las características del suelo y de los cultivos. También es necesario considerar el manejo integral de las cuencas hidrográficas ya que estas representan unidades ecológicas en las que debe evitarse el deterioro.

(iii). Erosión del suelo.

La principal causa de la erosión del suelo bajo condiciones de temporal es el cultivo de suelos que no deberían cultivarse, sin una tecnología adecuada de manejo del suelo y del agua.

La agricultura de secano desarrollada en las zonas semiáridas de Noreste de Brazil, en terrenos de montaña o ondulados casi siempre es poco productiva, pues estos suelos, son generalmente delgados, pedregosos y por la pendiente están expuestos a la erosión con mayor o menor rapidez, en función de la intensidad de la lluvia y de las características físicas del suelo.

La observación de campo permite decir que esta vulnerabilidad natural a la erosión no tiene consecuencias mientras existe la cubierta vegetal, pero en cuanto se elimina ésta, el suelo queda expuesto al impacto de la lluvia, y si el surcado no sigue el contorno de las curvas de nivel, el impacto es bien mayor.

Otra práctica no recomendada es el pastoreo de los residuos de las cosechas. Esta actividad asociada a la preparación tardía de la tierra, provoca que se compacte el terreno, se pierda la humedad residual al acelerarse la evaporación por capilaridad, evita que se incorpore la materia orgánica, y reduce la permeabilidad incrementando por lo tanto el coeficiente de escurrimiento.

Este proceso de desertificación es más intenso en las zonas semiáridas y semihúmedas que las áridas, pues en estas últimas la agricultura tiene que practicarse en las partes bajas y planas, para captar los escurrimientos de una cuenca y regar por inundación los terrenos de cultivo.

La recuperación de áreas extremadamente degradadas es muy costosa y en la mayoría de los casos requiere asistencia técnica (Anaya, 1978); ésta puede realizarse mediante prácticas de revegetación en aquellas áreas sujetas a la erosión hídrica y eólica o bien protegiendo la vegetación en contra del sobrepastoreo y mediante el control de cárcavas con estructuras temporales y/o permanentes.

El mantenimiento de la cubierta vegetal mediante prácticas de un manejo racional en los pastizales y en los bosques es esencial para prevenir el avance de la desertificación. En el caso de tierras agrícolas, sobre todo aquellas ubicadas en laderas y bajo condiciones de temporal, es indispensable controlar la erosión del suelo y optimizar la utilización del recurso agua de lluvia para detener el deterioro ecológico y aumentar la productividad.

- (iv). Reducción de la cubierta vegetal y productividad animal.

Existen actualmente numerosas tecnologías que han sido generadas durante las últimas décadas para lograr el manejo racional

de los factores del ecosistema y que pueden ser probados en Noreste de Brazil. Algunos ejemplos de lo obtenido hasta hoy son los siguientes: Sistemas eficientes de distribución del agua, control en el pastoreo, salud animal, mejoramiento en el manejo de los recursos suelo y planta, estrategias para alimentar a los animales durante períodos de escasez y la integración de actividades pastorales, silvícolas y agrícolas en sistemas complementarios de producción y considerando a la cuenca hidrográfica como una unidad de desarrollo.

Para prevenir la degradación en los pastizales es necesario combinar varias tecnologías, como la rotación de pasturas, el control de la carga animal, cercas, resiembra, fertilización y una distribución adecuada de los abrevaderos para prevenir las concentraciones excesivas de animales y los consecuentes daños.

(v). Escasez y mal uso de la energía.

Se estima que aproximadamente una tercer parte de la población mundial depende de la leña para cocinar y alrededor del 50% de la madera que se obtiene cada año se utiliza para este propósito, incluso las poblaciones de Noreste de Brazil. Para reducir el problema la leña podría ser substituida por pequeñas estufas de petróleo. Desafortunadamente, los cambios recientes en el costo de este combustible limitan su aplicación en los países con menos desarrollo, esto ha motivado al desarrollo de otras fuentes alternativas de energía, como la biogasificación y la energía solar.

La solución más promisoría, en el momento actual, para hacer frente a la escasez de este tipo de energía es la plantación de árboles de crecimiento rápido. Las tecnologías que permitan una reforestación integral y de múltiples propósitos en las comunidades ganaderas y agrícolas asegura la disponibilidad de recursos naturales y representa una poderosa arma para el combate de la desertificación y el mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades.

### 2.2.3. Clasificación y evaluación de algunas tecnologías de combate a la desertificación.

En el Cuadro , se presenta un sistema de análisis sobre clasificación y evaluación de algunas tecnologías aplicadas a diferentes sistemas de producción de la tierra, así como su peligro potencial de desertificación en varios sistemas de uso de la tierra.

El objetivo de las tecnologías aplicadas a diferentes usos de la tierra puede ser de acuerdo al Cuadro , aumentar la productividad y detener el proceso de la desertificación, o sea equivalen a medidas preventivas que tienen un costo reducido; por otro lado, hacer reversible el proceso y/o para recuperar áreas extremadamente degradadas, o sea, el combate a la desertificación con medidas correctivas y de recuperación que exigen mayores inversiones y plantean la necesidad de una mejor asistencia técnica (Anaya, 1977).

Método de Manejo	Tecnología	Sistema de uso de la tierra	Objetivo de la tecnología	Potencial de desertificación	Sistema de Producción	Cosmo	Nivel de Tecnología
Abastecimientos de agua	Desalinización	A.1	A	Ninguno	Intensivo	Caro	Complejo
	Aguas salinas	1	A	Medio	Semi-intenso	Medio	Complejo
Conservación del agua	Cisternas	A.1	A	Ninguno	Semi-Intenso	Barato	Simple
	Sitios para abrevaderos	A.P	A	Alto	Semi-intenso	Barato-caro	Interm-complejo
Métodos de riego	Inundación	1	A	Bajo	Semi-Intensivo	Barato	Simple
	Surcos	1	A	Bajo	Semi-intensivo	Barato	Simple-intermedio
	Riego por aspersión	1	A	Bajo	Intenso	Caro	Interm-complejo
	Riego por goteo	1	A	Medio	Intensivo	Caro	Complejo
	Riego por jarro de barro	I.T	A	Ninguno	Intensivo	Barato	Simple-intermedio
	Riego por cápsulas porosas	I.T	A	Ninguno	Intensivo	Barato	Simple-intermedio
	Riego por succión	I.T	A	Ninguno	Intensivo	Barato-medio	Intermedio-complejo
Manejo de escurrimientos	Manejo de escurrimientos	T.P.F	A.B	Bajo	Semi-intensivo	Barato	Simple-complejo
	Captación de agua	T.P.F	A.B	Bajo	Semi-intensivo	Barato	Simple-complejo
Conservación de suelos	Control de sedimentos	I.T.P.V.M.A	B.C.D.A	Bajo	Semi-intensivo	Caro	Interm-complejo
	Control de cárcavas	I.T.P.F.V. M.A.	B.D.C.A	Bajo	Extensivo	Barato-caro	Simple-complejo
	Revegetación	P.F.T.I.V. M.A.	B.C.D.A	Ninguno	Extensivo	Barato-caro	Simple-complejo
	Prácticas de labranza	I.T.P.F.V. M.A.	A.B.C.D	Alto	Intensivo	Caro	Simple-complejo
	Combinación de métodos	I.T.P.	B.C.A.D	Bajo	Intensivo	Caro	Simple-complejo
Drenaje	Canales abiertos o diques	I.T.P	B.C.A.D	Bajo	Semi-Intensivo	Caro	Simple-complejo
Fertilización	Orgánica	I.T.P	A.B.C.D	Ninguno	Semi-intensivo	Medio	Simple-intermedio
	Química	I.T.P	A.B.	Bajo	Semi-intensivo	Caro	Simple-intermedio
Establecimiento de plantas	Aforestación	I.T.P.F.A. V.M	B.A.	Ninguno	Extensivo	Barato-caro	Intermedio
Conservación de la planta	Plantas resistentes a la sequía	I.T.P.F.V. A.M.	A.B.	Ninguno	Semi-intensivo	Medio	Interm-complejo
	Revegetación	I.T.P.F.V. M.A.	B.C.D.A	Ninguno	Intensivo	Barato-caro	Simple-complejo
Agricultura	Rotación de cultivos	I.T.	B.A.	Ninguno	Semi-intensivo	Medio	Intermedio
Pastizales	Rotación de pastoreo	P	B.A.	Alto	Extensivo	Barato	Interm-complejo
Especies forestales	Control de recolección de leña	F	B.A.	Alto	Semi-intensivo	Barato	Simple-complejo
	Rompevientos	I.T.P.A. V.M.	B.A.C.D	Ninguno	Extensivo	Barato-caro	Interm-complejo
Mejoramiento de la vida animal	Introducción de especies	I.T.P.F.A	A.B	Bajo	Semi-intensivo	Medio	Interm-complejo
	Sombras	I.T.P.F.A	A	Ninguno	Semi-intensivo	Barato-caro	Simple

Uso de la tierra: Agricultura bajo riego (I); Agricultura de temporal (T); Pastizal (P); Forestal (F); Minería (M); Vías de comunicación (V); Asentamiento humano (A).  
Objetivos de la Tecnología: A) Aumentar la productividad; B) Detener la desertificación; C) Hace reversible el proceso; D) Recuperar áreas extremadamente degradadas.

Se puede considerar, por todo lo mencionado, que las tecnologías de carácter preventivo son mejores, para combatir la desertificación que las de tipo correctivo o de recuperación de sistemas de uso de la tierra más deterioradas. La tecnología preventiva ayuda a evitar daños que pueden ser irreparables o muy costosos sobre todo en comunidades de escasos recursos económicos.

### 2.3. El Trópico semiárido del Noreste brasileño.

La región árida y semiárida del Noreste ocupa una área de aproximadamente  $840.000 \text{ km}^2$ , representando uno 51% del área total de la región. Esto se considera las regiones donde las precipitaciones promedios anuales son inferiores a 800 mm (SUDENE, 1976). El trópico presenta precipitaciones con distribuciones irregulares, durante 4 a 5 meses del año, y las tasas cambian de 250 mm a 800 mm.

La población rural del Noreste estimada para el año de 1976, fue de 17.2 millones de habitantes, correspondiendo a 54% del total y la densidad demográfica de  $19.5 \text{ hab./km}^2$ .

#### 2.3.1. Clasificación climática.

Según los estudios realizados por (Hargreaves, 1974), en los cuales correlacionó la precipitación mensual, a un nivel de probabilidad del 75%, con la evapotranspiración potencial estimada en base a temperatura y la humedad relativa promedio, clasifica el Noreste en las siguientes zonas climáticas: (i) Muy áridas, (ii) áridas, (iii) semiáridas y (iv) subhúmedas, conforme se presenta en la Fig. .

La adecuabilidad de estas zonas para fines agrícolas, son descritas a seguir en base al índice de disponibilidad de humedad, determinado por (Hargreaves, 1974).



(i). Muy áridas. No es adecuada para la agricultura de secano.

(ii). Aridas. Es poco adecuada para la agricultura de secano.

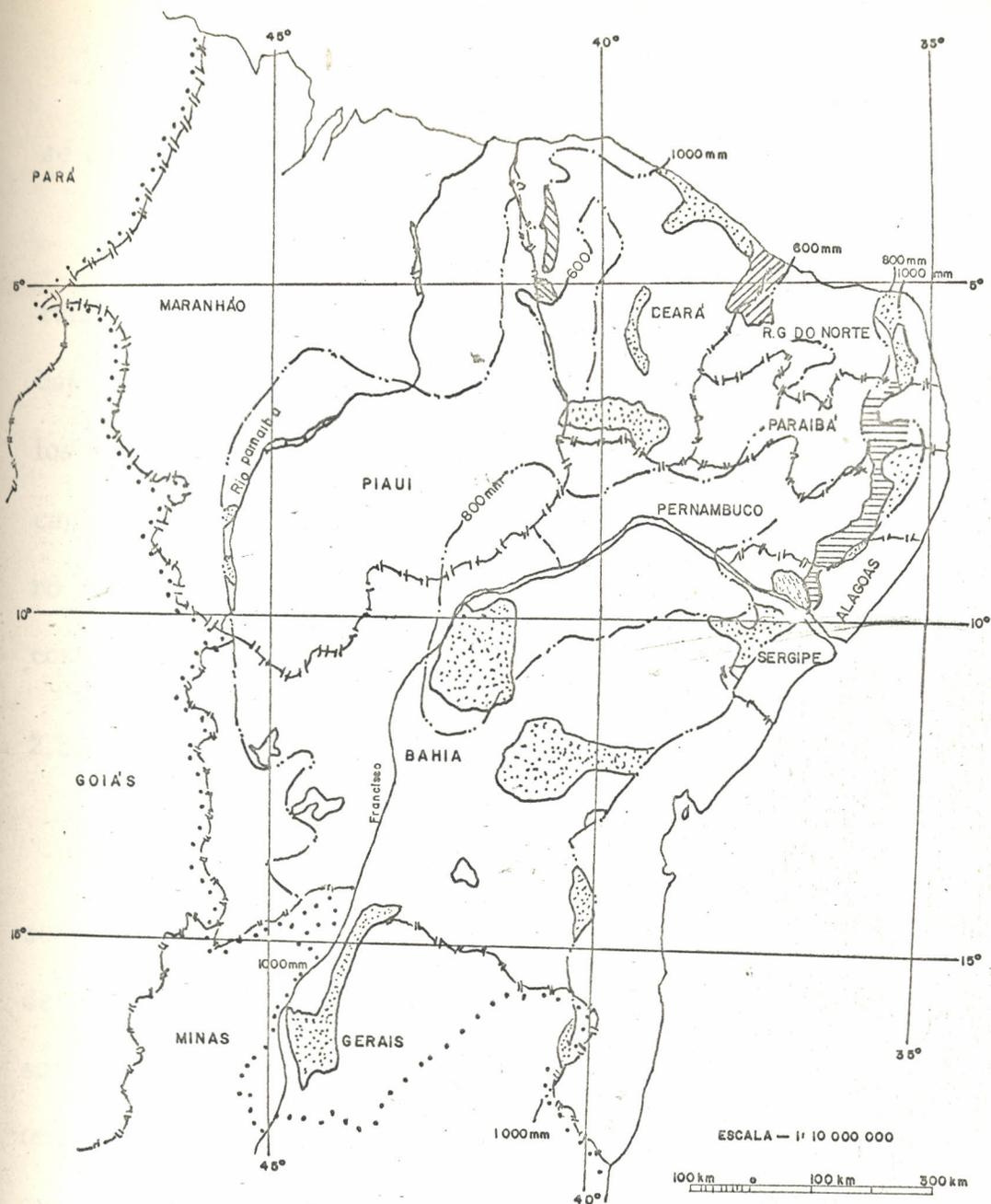
(iii). Semiáridas. Areas adecuadas para los cultivos de ciclo corto.

(iv). Subhúmedas. Regiones adecuadas para la agricultura que requiere niveles óptimos de humedad durante 6 o más meses al año.

#### 2.3.2. Zonificación de los suelos para la agricultura de temporal.

Gran parte de las zonas agropecuarias del Noreste bajo estudio, ocupa áreas con altitudes entre 300 a 700 m (Simoes, 1979). Sin embargo el potencial de los suelos de estas regiones, poco representan para la obtención de altos rendimientos (Liu, 1978). Esto refleja la necesidad de que los estudios al desarrollarse en estas condiciones de lluvia deficiente, han de considerar principalmente las características edafoclimáticas como un todo dentro de los ecosistemas.

En lo general en Noreste de Brazil la ocurrencia de suelos de altas potencialidades agropecuarias, y que permitan la obtención de rendimientos aceptables, independientes de técnicas agronómicas, son muy reducidos. Según estudios realizados por la (SUDENE, 1972), como



- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  | Suelos con B Latossolico y B textural con arcilla de actividad baja. |  | Suelos con B latossolico (No hidromorficos/suelos arenocuartzosos profundos). |
|  | Suelos con B textural y arcilla de actividad alta.                   |  | Cambisol/Vertisolo.   |
|  | Suelos pocos desarrollados (No hidromorficos). Regosol.              |   |   |

Factores limitantes: Fertilidad baja y profundidad

Fig. 3 Suelos para la agricultura bajo condiciones de temporal en áreas de precipitaciones promedio entre 600 y 1000mm anuales (SUDENE, 1972).

se observa en la Figura .

El trabajo anterior considera que, debido a la alta irregularidad de las precipitaciones, estas áreas deberían ser explotadas bajo riego. Sin embargo, los costos de implantación y operación de los proyectos de riego, no están al alcance de la gran mayoría de los campesinos del noreste, a no ser a través del desarrollo de métodos no convencionales de riego o sea métodos muy rudimentarios y de bajo costo.

### 2.3.3. Recursos hídricos para los sistemas agrícolas con agua de escurrimiento superficial (SAES).

Es de interés el análisis de los rendimientos de las aguas superficiales del noreste, aunque de forma generalizada, con la finalidad de cuantificar los recursos hídricos de esta zona. También los mismos son significativos para el planeamiento de técnicos de investigación, que tengan el objetivo de desarrollar las regiones áridas y semiáridas susceptibles de desertificación. Además que esta información sirve en el escalonamiento de las mejores técnicas a ser aplicadas, para optimizar el aprovechamiento del agua de lluvia y su posterior aplicación a través del sistema (SAES).

En la Figura , se observa los rendimientos promedios anuales de las aguas superficiales, donde se concluye que las cuencas de las regiones áridas y semiáridas, tiene rendimientos promedios anua

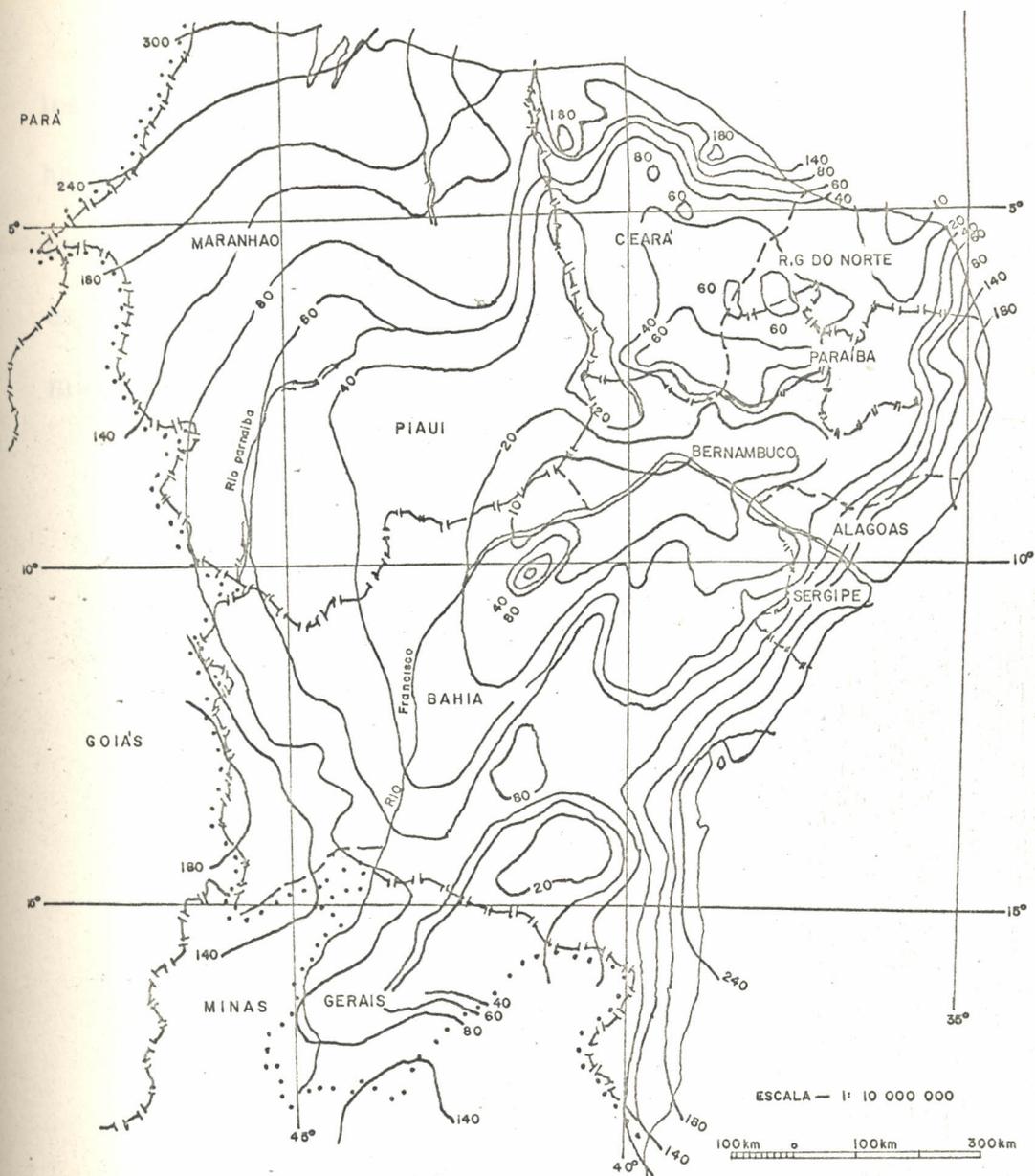


Fig. 4 Rendimiento de las aguas superficiales del Noreste Brasileño promedios anuales en mm (SUDENE, 1972).

les, mucho irregular, que se estima entre  $60 \text{ m}^3/\text{ha/año}$  y  $600 \text{ m}^3/\text{ha/año}$  (SUDENE, 1972). Mientras que los volúmenes promedios anuales por unidad de área son determinados estadísticamente y presentan un coeficiente de variación superior a 100%, significando que el rendimiento de las cuencas en años de sequía son prácticamente cero.

2.4. Investigaciones en desarrollo en el CPATSA/EMBRAPA sobre manejo del suelo y del agua en condiciones de secano.

El Programa de Investigación del CPATSA/EMBRAPA, es constituido de cuatro Proyectos (CPATSA, 1978), a saber:

(i). Desarrollo de sistemas de producción para las áreas de temporal deficiente;

(ii). Manejo de la "Caatinga";

(iii). Desarrollo de sistemas de producción para áreas bajo riego;

(iv). Inventario de los recursos naturales y socioeconómico.

La equipe interdisciplinaria del CPATSA, en la actualidad es compuesta de 54 investigadores y el total muy breve será de 84.

La zona semiárida para la cual el CPATSA genera y coordina los trabajos de investigación, tiene 115 millones de ha (13% de Brasil y 75% del Noreste), presentando suelos sumeros, bajo fertilidad, agua dependiendo de lluvia limitada y sistemas de producción variable. Esta variabilidad de condiciones edafoclimáticas y de distintos modelos de exploración agropecuaria, sirven de elementos básicos para la división del trópico semiárido en 3 zonas de condiciones distintas, para las cuales, el CPATSA encuentrase desarrollando los 3 primeros Proyectos mencio-

nados anteriormente, apoyados por el proyecto de inventario de los recursos naturales. Las zonas de diferentes características son presentados, a seguir:

(a). Zonas de baja precipitación de 250-600 mm anuales;

(b). Zonas de precipitación promedio de 600-1000 mm anuales;

(c). Zonas de precipitación mayor que 1000 mm anuales;

Con el objeto de alcanzar un mejor desarrollo del sector primario de la economía de la región semiárida, el CPATSA, dispone de una programación basada en las ramas de la investigación establecidas a nivel de Gobierno Federal. Por el plan básico de Desarrollo Científico y Tecnológico y, a nivel regional, por las políticas establecidas por los organismos de desarrollo del Noreste (CPATSA, 1978).

Las investigaciones desarrolladas en manejo del suelo y del agua, para las zonas de temporal deficiente, están condicionadas a la inestabilidad climática. Por esta razón, el programa de investigación para esta zona es constituido de 3 subproyectos pertenecientes al gran proyecto de Desarrollo de Producción para las áreas de temporal deficiente, y son los siguientes:

(ia). - Desarrollo de Sistemas de producción con agua de escurrimiento superficial (SAES).

(ib). - Desarrollo de sistemas de producción en micro-cuencas hidrográficas (SAMH).

(iab). - Desarrollo de sistemas de producción para las áreas alrededor de presas y otros reservorios del agua (SAV).

Además de estos subproyectos de investigación ya mencionados, existe el subproyecto de tolerancia a la sequía que sirve de apoyo a los demás.

Los objetivos de los subproyectos (ia, ib y iab), están basados en la utilización adecuada de las pequeñas cuencas hidrográficas, pequeños reservorios del agua y presas, los cuales pueden ofrecer el agua almacenada necesaria a los riegos complementarios o de salvamento, reduciendo de esta manera, los riesgos en la agricultura y ganadería. Además de establecer un incremento en la estabilidad de las actividades agropecuarias (CPATSA, 1978). También se está desarrollando algunos sistemas de captación del agua de lluvia en el sistema de micro-cuencas hidrográficas (ib) y en el sistema de escurrimiento superficial (ia), con la finalidad de mejorar la distribución del agua de lluvia durante el ciclo de los cultivos en las zonas de temporal deficiente, considerándose algunos aspectos de conservación del suelo y del agua.

Con respecto a los sistemas de producción desarrollados alrededor de las presas, el CPATSA tiene como objetivo optimizar los recursos hídricos ya existentes en el trópico semiárido, a través de la

utilización de las presas públicas y particulares de la región, pues es tas presentan una eficiencia en cuanto al manejo del agua almacenada, para la agricultura, extremadamente bajo (CPATSA, 1978).

Por otra parte, la aplicación del riego a través de cápsulas porosas y jarro de barro confeccionados de arcilla, presentan re sultados preliminares prometedores, debido a que estos métodos no convencionales de riego, tiene bajo costo de producción, utilizando ma terial local y simplicidad en la instalación y operación, como se observa en el Cuadro . Además del reducido consumo del agua, 300 m<sup>3</sup> por hectárea por 90 días, para los cultivos de melón y sandía (Nac., 1974 y Silva, et al., 1979). Con la utilización de estos métodos de riego, estimase la posibilidad de una mayor estabilidad en la producción del pequeño agricultor a nivel de subsistencia, principalmente en el plantio de pequeñas huertas y frutales (Silva, Santos y Magalhaes, 1978).

En la parte referente al manejo de cultivos, énfasis es pecial están siendo direccionada a la identificación de las especies ade cuadas para los sistemas de cultivos asociados y mezclados y a las va riedades tolerantes a la sequía. Mientras que el cultivo de sorgo, vie ne siendo sembrado en gran escala gracias a los esfuerzos del CAPTSA y otras instituciones de investigación, y los resultados obtenidos han demostrado un gran incremento en la producción, con relación al maíz, principalmente en aquellas áreas de gran inestabilidad climática (CPATSA, 1978).

#### 2.4.1. Sistemas agrícolas a través de escurrimiento superficial (SAES).

Según (Liu, 1978 y NAC, 1974), este sistema consiste en la captación del agua de lluvia en una área de declividad adecuada para cada condición y constituida de suelos someros, impermeables y no agricultores<sup>ables</sup>, y el almacenamiento de ella en pequeños reservatorios (Aprox. 6000 m<sup>3</sup>). Esta agua almacenada tiene la finalidad de ser utilizada en riegos complementarios en las áreas bajo cultivo y también para los animales en períodos críticos. Según (Liu, 1978), en los años de precipitación bien distribuidas esta agua podrá ser utilizada después del período de lluvias, en los cultivos, que tengan alta economicidad.

El sistema SAES que está siendo desarrollado en el CPATSA, podrá asegurar a los pequeños agricultores el agua suficiente para el uso casero y razonable producción de alimentos, posibilitando a los campesinos de las zonas áridas y semiáridas de Noreste de Brazil, permaneceran en sus tierras mismo en los años de sequía.

#### 2.5. Limitaciones en las investigaciones sobre manejo del suelo y del agua de combate a la desertificación.

El manejo no adecuado del suelo y del agua en las zonas áridas y semiáridas del Noreste es en realidad la causa principal de otros problemas consecuentes de fertilidad y productividad pero no ha sido sometida a la investigación tan intensiva como estos últimos, debi

do a una serie de limitaciones tanto de carácter teórico como económico que no son tan marcadas en otras áreas de las ciencias agrícolas.

Por otro lado, los estudios sobre manejo del suelo y del agua son mucho más riesgosos en las zonas de baja precipitación (250-600 mm), motivo principal de controversias sobre las mejores técnicas a ser utilizadas y además solamente en los últimos 2 años que las investigaciones se han direccionada a las áreas temporales del Noreste enfocada en sistema de producción (SAES) por un equipo interdisciplinario.

Los aspectos principales de las limitaciones en manejo del suelo y del agua para el combate a la desertificación en Noreste de Brazil, son analizados a continuación. Antes se debe mencionar que no es desconocido el trabajo realizados por la Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuaria (IPA/EMBRAP), y los trabajos desarrollados por Dr. Moacir de Freitas y Dr. Bertoni para el combate a la erosión del suelo, cuyos resultados sirven de base a los estudios sobre manejo del suelo y del agua en Noreste de Brazil.

#### 2.5.1. Limitaciones teóricas.

Según (Trueba, 1978), la investigación moderna sobre la variabilidad de los factores de la erosión, se basa en el desarrollo de modelos matemáticos de predicción, integrados por trabajos individuales que analizan separadamente la participación de los diferentes

factores involucrados tanto en predecir la erosión como en atenuarla. Donde los principales esfuerzos han llegado a desarrollar la Ecuación Universal para estimar la pérdida del suelo, constituyendo la principal herramienta en la planeación del manejo del suelo en los Estados Unidos y otros países, incluso Brazil.

Estos modelos matemáticos de optimización de los recursos naturales, son confeccionados en base a las características de la precipitación y del suelo, el tipo de cultivo, el manejo de residuos, las prácticas de labranza y conservación, la modificación de la pendiente por erosión o deposiciones, etc. De esta manera es posible aplicar los datos bajo <sup>o</sup> condiciones geográficas o climáticas específicas.

En el Noreste actualmente no se puede utilizar estos recursos matemáticos por desconocimiento de la información básica. Sin embargo, la investigación directa sobre la bondad de las prácticas mecánicas y vegetativas para contrarrestar los efectos de la erosión, pueden ayudar a definir políticas de acción de acuerdo a los objetivos de los Programas de Conservación del suelo y del agua (Trueba, 1978).

Según muchos investigadores, la validez de las conclusiones obtenidas en los trabajos de investigación sobre manejo del agua y del suelo, están muy ligadas a los criterios considerados en su diseño. Los propósitos del estudio, la selección del sitio experimental, los instrumentos de aforo y muestreo y la disponibilidad de recursos,

son aspectos básicos a considerar en el diseño de la investigación.

Los estudios más comunes se agrupan en dos tipos, los experimentales que son empleados más en los Estados Unidos y los de observación usualmente utilizados en Australia y Nueva Zelandia.

Los estudios experimentales son aquellos que se establecen en bloques que agrupan a todos los tratamientos bajo estudio y se distribuyen aleatoriamente dentro del bloque experimental (Hayward, 1968). Mientras los estudios de observación son aquellos en que los tratamientos están íntimamente ligados a ciertas condiciones ambientales, por lo que no es posible su agrupación en bloques y se distribuyen en lotes aislados dentro del área experimental (Hayward, 1968).

Según (Trueba, 1978), tanto los estudios experimentales como los de observación son válidos siempre y cuando se considere el carácter de la investigación.

Sin embargo, en estudios de manejo del suelo y del agua, las limitaciones físicas y económicas restringen una adecuada aleatoriedad para tratar de controlar las dos principales fuentes de sesgo que son los efectos de límite y microclima generado por la misma investigación y las suposiciones de homogeneidad dentro de las unidades experimentales.

### 2.5.2. Limitaciones económicas.

Es del conocimiento que mediante la repetición de tratamiento se obtiene una mejor estimación del error experimental y mejora la precisión de un experimento al reducir la desviación de la media de tratamientos. Sin embargo, en los trabajos de manejo del suelo y del agua, lo elevado de los costos de construcción de los sistemas determina que el número de repeticiones sea regulado por aspectos económicos, por lo cual dicho número generalmente es mínimo, como ejemplo se tiene el trabajo de captación del agua de lluvia en el Campo Experimental de Manejo de la "Caatinga", en Petrolina, PE., perteneciente al CPATSA/EMBRAPA.

Lo que hace costosa la investigación en conservación del suelo y del agua, no es solo la inversión inicial a través de los altos costos de construcción y el equipo de aforo, sino más bien los costos de operación, ya que aún en aquellos sistemas considerados económicos, los costos de operación se mantienen a un nivel muy elevado.

### 2.5.3. Conclusiones.

(i). El número de repeticiones de tratamientos por establecer está regulado más bien por aspectos económicos que por criterios meramente estadístico (Hayward, 1968).

(ii). Basados en la gran variabilidad de diseños y equipo para la investigación; muchas veces es necesario hacer adaptaciones de diferentes modelos de investigación de acuerdo a los objetivos del trabajo y a las limitaciones técnicas o económicas existentes (Trueba, 1978).

(iii). La eficiencia de las prácticas mecánicas y vegetativas para reducir la erosión se mantienen relativamente constantes a través del tiempo y del espacio (Trueba, 1978).

(iv). La única forma confiable de evaluar la eficiencia de algunas técnicas sobre manejo del suelo y del agua, es mediante el uso de parcelas grandes de experimentación, ya que de esta manera se tiene representadas fielmente las condiciones reales de cuenca (Harrold, 1971 y ICRISAT, 75-76).

### III HIPOTESIS

Las hipótesis de trabajo propuestas son las siguientes:

(i). No existe investigación en la actualidad que trate de evaluar sistemáticamente la eficiencia de las mejores técnicas de captación del agua de lluvia en el sistema (SAES).

(ii). No existe investigación para evaluar la eficiencia de prácticas mecánicas y vegetativas para reducir las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica, en los sitios donde serán instalados el sistema (SAES).

(iii). No existe un modelo matemático calibrado para el método de riego por succión y jarros de barro.

(iv). No existe estudio que evalúe la potencialidad del método de riego por succión y jarros de barro para riego de cultivos con agua salada.

Las hipótesis planteadas se refieren más al sistema (SAES), debido a que los otros encuentranse más o menos completos, incluso el sistema (SAMH), está a un nivel óptimo de detalle, el cual fue realizado por (Aragao, 1977 y Lima 1977), durante sus entrenamientos en el ICRISAT, Hyderabad, India.

#### IV ALGUNAS TECNICAS SOBRE MENEJO DEL SUELO Y DEL AGUA PARA ZONAS SUSCEPTIBLES DE DESERTIFICACION

Las técnicas sobre manejo del suelo y del agua tratadas en este trabajo, consiste en alterar el sistema físico a fin de minimizar el escurrimiento superficial, la evaporación, optimizar la captación del agua de lluvia, minimizar el consumo del agua almacenada en reservatorio a través de los métodos no convencionales de riego, aumentar la tasa de infiltración y mejorar el almacenamiento de humedad necesario para los cultivos.

En el Noreste con frecuencia se observan escurrimientos superficiales en tierras de temporal deficiente ya que cuando se presenta el escurrimiento se pierde el recurso agua con que se contaba para un riego suplementario y además se pierde el recurso suelo y nutrientes imprescindibles al desarrollo de los cultivos.

La base principal del sistema (SAES), esta en captar y almacenar el agua de lluvia para utilizarla con irrigación suplementaria. Por medio de esta técnica, los agricultores pueden sembrar variedades que les den el máximo rendimiento y manejarlas y fertilizarlas de acuerdo a sus necesidades. Las deficiencias de la precipitación natural pueden subsanarse por medio de la irrigación, disminuyendo de esta manera las pérdidas periódicas de los cultivos o el riesgo de que se pierdan.

#### 4.1. Topografía.

Los trabajos de investigación sobre manejo del suelo y del agua, deben apoyarse sobre Levantamientos planialtimétricos, con el fin de poder manejar más adecuadamente la parte de ingeniería de la estructura de captación, almacenamiento y distribución de los recursos suelo y agua.

Los estudios topográficos que requiere la elaboración de un sistema (SAES), son los siguientes:

(i). Cuencas de captación.

(a). Identificación del parteaguas: La identificación debe hacerse mediante un recorrido de campo, dejando banderas en puntos adecuados, que posteriormente serán localizados y registrados a través de un levantamiento planialtimétrico.

(b). Levantamiento de la cuenca y la determinación de las líneas de drenaje: En el levantamiento de cuencas de captación, no se requiere una gran precisión, aunque es conveniente ajustarse a ciertos errores máximos permisibles, de acuerdo al método de trabajo y el tipo de levantamiento. ( Mayores detalles son encontrados en el Manual de Conservación del Suelo y del Agua, Chapingo, Méx.).

Sin embargo, se recomienda que se haga la localización en la planta de los principales detalles físicos de la área de captación,

principalmente es de gran extensión.

(ii). Levantamientos de detalle para la localización y diseño de las obras.

Estos levantamientos deben apoyarse siempre en una poligonal, debidamente nivelada, contranivelada y referenciada. Esta poligonal sirve para la medición sobre el terreno de las distancias y los ángulos. Se recomienda que sea trazado dos poligonales en la cuenca de captación para el sistema (SAES), y de acuerdo con las dimensiones de estas, las distancias en la poligonal no ultrapase de 20 metros.

(iii). Estudios básicos.

(a). Curvas de nivel. Deberán ser determinadas de tal manera que permita en el mapa el trazado de curvas de nivel con 0.50 m en el máximo.

(b). Curvas con declive. Estas son necesarias en la localización de los canales de desagüe, principalmente en los suelos que no tengan la capacidad de almacenar el volumen de una lluvia máxima en 24 horas con un período de retorno de cinco años.

(c). Determinación de la pendiente media del terreno. Esta es importante determinar debido su utilización en la clasificación de suelos por su capacidad de uso y la selección de prácticas de conservación del suelo. Esta determinación puede realizarse directamente en el campo o bien sobre un plano topográfico de configuración (Manual de Conservación del Suelo, Chapingo, Méx.).

#### 4.2. Manejo del suelo y del agua.

Las técnicas de manejo del suelo y del agua para las regiones susceptibles de desertificación, son consideradas integralmente, debido a que cuando se hace manejo del suelo, implícitamente se está haciendo manejo del agua y estos dos recursos son determinantes de la tendencia de la finca para la explotación agropecuaria. Según (Wambeke, 1974), solamente pueden hacerse recomendaciones generales acerca del manejo del suelo y del agua, puesto que los factores, socioeconómicos desempeñan un papel importante. Por este motivo, esencialmente, se describirá algunas técnicas de investigación que todavía hace falta ser incorporada al sistema (SAES).

##### 4.2.1. Captación del agua de lluvia.

Cuando la lluvia disponible no satisface los requerimientos mínimos de los cultivos es conveniente recurrir a técnicas de captación de lluvia, las cuales consisten en aumentar la disponibilidad de agua para las plantas mediante el uso de microcuencas de captación o almacenamiento del agua captada en tanque, para después reutilizarla mediante riego suplementario.

La producción de cosechas en zonas áridas y semiáridas mediante el uso de microcuencas de captación de agua de lluvia abre nuevas perspectivas para la mejor utilización de regiones en donde la

precipitación pluvial es limitante, para lo cual, se deben de considerar algunos factores de suma importancia, tales como: que la lluvia ocurra durante el período favorable al crecimiento de las plantas y segundo que el volumen de agua escurrida sea suficiente para satisfacer los requerimientos mínimos de agua por las plantas.

En la actualidad y dada la imperiosa necesidad de incrementar la producción por unidad de superficie, es necesario desarrollar nuevas técnicas en la agricultura, en nuestro medio se ha dado preponderancia al estudio de la fertilidad y de los fertilizantes, a la producción de semilla mejoradas que presentan resistencia a las heladas, a la sequía y al ataque de plagas, se han creado más y mejores técnicas de riego y de manejo de suelos para abatir problemas de drenaje y salinidad. Sin embargo, un gran porcentaje de toda esta investigación ha sido enfocada a las zonas que se encuentran bajo condiciones de riego, por ello las áreas de temporal han tenido un mínimo desarrollo (Tovar, 1978).

En los últimos años, algunos investigadores de varios países han tratado de desarrollar técnicas que permitan un aprovechamiento óptimo del agua de lluvia en zonas con temporal deficiente para ello se han hecho algunos considerandos como los que propone (Anaya, 1976):  
a) Cuando el uso consuntivo es menor que la precipitación pluvial; b) Cuando el uso consuntivo es satisfecho con la cantidad y distribución de

la lluvia; c) Cuando el uso consuntivo es mayor que la precipitación pluvial. En los dos primeros puntos no existe problema por deficiencia de agua, salvo que se presente un período de sequía durante el ciclo de cultivo. Este autor también propone 3 alternativas para cuando se presente el caso de inciso c). 1). Cambiar a otro cultivo que tenga menos requerimientos de humedad; 2). Dedicar un cierto porcentaje de la superficie para captación de lluvia y 3) Establecer una agricultura mixta, es decir, con riego suplementario cuando sea posible.

(a) Objetivo de las técnicas de captación del agua de lluvia.

El objetivo específico de las técnicas de captación de agua de lluvia están acordes con la finalidad que se persigue en cada una de ellas. Estas finalidades son para consumo humano, para abrevadero, y para la agricultura en general.

En el caso de las técnicas para consumo humano o de abrevadero el objetivo es coleccionar, concentrar y almacenar agua de lluvia en depósitos. La colección de agua se hace de diversas formas, en algunos casos se utiliza el techo de las casas, en otros se hace mediante trampas de arena o superficies acondicionadas con impermeabilizantes o bien coleccionando el agua que escurre de pequeños arroyos que se forman con la lluvia. El almacenamiento de agua así captada se hace en depósitos que pueden estar en la superficie del suelo como tinacos o pequeños bordos, en otros casos los depósitos están enterra-

dos como lo son las cisternas o se puede hacer en bolsas de hule o en depresiones del terreno rellenas de grava y piedra (Anaya, 1976 y Tovar, 1978).

Cuando se trata de técnicas de captación de lluvia con fines agrícolas el objetivo principal es el de colectar agua, conducirla hasta el área que se desee y almacenarla dentro del suelo, específicamente en el área destinada a la siembra y que corresponde a la zona en la que se desarrollarán las raíces, por lo tanto, es deseable mejorar las propiedades físicas del suelo en esta área para que pueda almacenar el máximo contenido de humedad aprovechable por las plantas, en otros casos el agua puede ser almacenada en depósitos artificiales para utilizarla posteriormente con fines de riego suplementario (Tovar, 1978 y Liu, 1978).

Los efectos de las técnicas de captación son de diversa índole, sin embargo, todas persiguen como objetivo principal el suplir las carencias de agua durante las etapas críticas, bien sean de los cultivos o durante las épocas de sequía en que el hombre y el ganado padecen por la falta de agua.

En el caso de cultivos el efecto de la captación de agua se refleja en la producción, ya que mediante estas técnicas es posible que la planta pueda soportar períodos más largos de sequía, pues el

suelo ha almacenado agua para ello, o bien, el agua que ha sido almacenada en los depósitos es extraída para regar en forma suplementaria a los cultivos (Tovar, 1975).

En cuanto a los abrevaderos, es posible establecer diferentes puntos de captación sobre la superficie de pastoreo, con la finalidad de que el ganado no se desplace y de que se aproveche mejor las áreas con vegetación, evitando el sobrepastoreo en un sólo sitio.

(b). - Manejo del agua bajo condiciones de temporal.

Un sistema de captación de lluvia consta fundamentalmente de dos partes:

(i). Area de escurrimiento, (Ae) lo cual tiene la función de coleccionar el agua de lluvia y conducirla hacia;

(ii). Area de siembra (As).

Para fines prácticos y de manejo en la agricultura de temporal, se ha clasificado a las técnicas de captación "in situ" del agua de lluvia en tres grandes grupos de cultivos: (i) De hilera (maíz, frijol, algodón, hortalizas, etc.); (ii) tupidos (trigo, pastos, etc.), y (iii) individuales (árboles, frutales, florestales, arbustos forrajeros, etc).

Los tres sistemas de siembra mencionados se pueden ejemplificar de la manera siguiente:

(i). Técnicas de captación para cultivos en hilera.

Esta técnica se basa en el manejo de las hileras de plantas mediante la separación entre ellas hasta encontrar la distancia óptima para una región, de acuerdo a la cantidad y distribución de la lluvia, a el coeficiente de escurrimiento, a la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y a las necesidades hídricas del cultivar.

Esta técnica tiene diferentes modalidades, que consisten en sembrar hileras individuales, por pares o apareadas y en grupos de 3 a 10 surcos.

Kemper citado por (Fairbourn, 1975), probó las relaciones  $A_e: A_s$  <sup>1/</sup> de 3:1 y 4:1 en hileras simples y en hileras dobles y menciona que en años lluviosos no hubo diferencias significativas entre tratamientos y en años secos se produjo un incremento en el rendimiento a medida que aumento el área de escurrimiento en ambas formas de siembra.

(ii). Técnicas de captación en cultivos tupidos.

Esta técnica se basa en el principio de la terraza ideada por Zingg y Hauser citado por (Tovar, 1978), la cual consiste en construir bordos en curvas a nivel espaciados de acuerdo a la pendiente, la superficie intermedia entre cada uno de los bordos se divide en dos

---

<sup>1/</sup>  $A_e:A_s$  Area de escurrimiento: Area de siembra.

partes; la superior que se dedica a la colección y conducción del agua de lluvia y la inferior que se acondiciona para retener o almacenar a dicha agua, en la primera se procura no alterar la superficie del suelo con el objetivo de inducir el escurrimiento, la parte inferior, que corresponde a el área de siembra se acondiciona mediante labores de labranza adecuadas para propiciar la infiltración y obtener una mayor capacidad de retención de humedad del suelo, mediante estas prácticas se evita la erosión y se conserva el suelo y el agua.

Algunos investigadores al probar en maíz y en sorgo diferentes anchuras de área de escurrimiento para una misma área sembrada encontraron que con lluvias de 195 y de 240 mm durante el cultivo el contenido de humedad del suelo en el área sembrada se incrementó a medida que aumento el ancho del área de escurrimiento, la misma tendencia se observó en los rendimientos de grano y de forraje de maíz y de sorgo.

(iii). Técnicas de captación para frutales.

De Angelis, citado por (Evenari, 1979), ideó las microcuencas de captación para frutales a las que designó con el nombre de Negarin, esas microcuencas consisten en trazar, según la topografía del terreno, rectángulos o cualesquiera otra figura geométrica, y sobre ella construir bordos para circundarla, al interior de la microcuenca se le da una cierta pendiente o se aprovecha la pendiente natural del

terreno para propiciar el escurrimiento del agua, colocándose en el vértice más bajo el frutal, para que pueda recibir el agua colectada. El tamaño de la microcuenca depende de los factores mencionados en el inciso, (i).

Utilizando el sistema anterior, de (Ángelis, 1971) realizó varios experimentos para determinar el coeficiente de escurrimiento para diferentes tamaños de microcuencas y encontró que a mayor tamaño el coeficiente de escurrimiento tiende a disminuir debido a que el suelo ofrece mayor oportunidad para que el agua se infiltre.

Según (Anaya, Tovar y Macias, 1976), el cálculo de las microcuencas pueden ser desarrollado, utilizando la siguiente ecuación:

$$A_c = A_s + A_e$$

donde:

$A_c$  = Tamaño de la microcuenca,

$A_s$  = Area de siembra,

$A_e$  = Area de escurrimiento

Determinación del área de siembra. En el caso de cultivos de hilera el área de siembra o área de almacenamiento es la superficie delimitada por la longitud del surco y el diámetro del área de exploración del sistema radical; el área de siembra de los cultivos tupidos esta definida por la longitud y el ancho de la banda o de la superficie sembrada, que por lo general es un múltiplo de la longitud de los imple-

mentos agrícolas para siembras de este tipo.

### Determinación del Area de Escurrimiento.

El tamaño del área de escurrimiento ( $A_e$ ) depende de cuatro factores:

- 1) Tamaño del área de siembra ( $A_s$ ). A mayor tamaño de  $A_s$  el tamaño de  $A_e$  aumenta.
- 2) Coeficiente de escurrimiento ( $C$ ). A mayor  $C$  menor tamaño de  $A_e$ .
- 3) Precipitación pluvial al 50% de probabilidad ( $P$ ). A mayor cantidad de lluvia, menor tamaño de  $A_e$ .
- 4) Necesidades hídricas del cultivar ( $UC$ ). a mayor  $UC$ , mayor tamaño de  $A_e$ .

Conociendo el  $UC$  y la  $P$  se puede estimar las deficiencias de agua del cultivar durante el ciclo vegetativo de la manera siguiente:  
( $UC - P$ ) sólo cuando ésta diferencia resulta positiva es conveniente recurrir a las técnicas de captación "in situ"

De los 5 puntos anteriores se tiene que:

Si $A_s$	entonces	$A_e$
Si $P$	entonces	$A_e$
Si $C$	entonces	$A_e$
Si $UC - P$	entonces	$A_e$

Dado que:

( $UC - P$ ).  $A_s$  = Volumen de agua faltante en el  $A_s$  para satisfacer las necesidades hídricas del cultivar ( $UC$ ).

$PC$  = Lámina de agua aportada por el  $A_e$  para el  $A_s$ .

P.C.Ae = Volumen de agua apartada por el Ae para el As.

Se tiene que:

$$(UC - P). As = P.C.Ae.$$

Donde al dividir el volumen de agua faltante en el As entre la lámina de agua aportada a el Ae se obtiene el tamaño del Ae.

donde

$$Ae = \frac{(UC - P). As}{P.C}$$

Donde al dividir el volumen de agua faltante en el As entre la lámina de agua aportada a el Ae se obtiene el tamaño del Ae.

donde

$$Ae = \frac{(UC - P). As}{P.C}$$

Finalmente la ecuación

$$Ac = As + Ae$$

Queda:

$$Ac = As + \frac{(UC - P). As}{P.C}$$

donde:

Ac = Tamaño de la microcuenca.

As = Area de siembra que los agricultores tradicionalmente utilizan según el cultivo o corresponde a el diámetro de la zona radicular del cultivar o a la superficie que ocupan las raíces de un frutal.

C = Coeficiente de escurrimiento en el (Ae).

UC-P = Total de deficiencias mensuales del agua durante el ciclo vegetativo del cultivo.

P = Total de la lluvia que cae en el tiempo que dure en desarrollarse el cultivo.

#### 4.2.1.1. Ecuación para el cálculo de microcuencas (Anaya, et al).

La ecuación propuesta es la siguiente:

$$A_c = A_s + \frac{1}{C} \left( \frac{UC - P}{P} \times A_s \right) \dots\dots\dots(1)$$

Durante bastante tiempo los investigadores dedicados al estudio de las técnicas de captación de lluvia trataron de encontrar alguna ecuación o alguna fórmula que relacionará los diferentes factores que intervienen en este tipo de trabajo y encontrar de una manera lógica y razonada la distancia entre hileras, el ancho entre fajas o en el tamaño de la microcuena, puesto que anteriormente el cálculo se había hecho de una forma empírica.

En el Colegio de Postgraduados de la E.N.A., los investigadores (Anaya, Tovar y Macias, 1976) obtuvieron, después de algunos años de observación la ecuación (1) mediante la cual es posible de terminar la magnitud de las microcuencas.

Debido a que tanto la longitud del surco o de la banda sembrada y la longitud del área de escurrimiento se ven afectados por las dimensiones del terreno, para fines de cálculo se considera una

longitud de 1 metro, lo que multiplicada por el ancho del surco o de la banda sembrada definen el tamaño de la microcuenca.

Para facilitar las operaciones al momento de realizar los cálculos y considerando constante la longitud de 1 m se emplean las unidades siguientes:

Tipo de cultivo	Ar	Ae*	TM
Hilera	cm	cm	cm
Tupido	m	m	m

En el caso de cultivos individuales como las unidades que se utilizan están dadas en metros cuadrados no hay necesidad de considerar una longitud constante.

(A). Sistemas de captación in situ del agua de lluvia (SICAL).

Según (Anaya, 1977), un sistema de captación del agua de lluvia consiste en dedicar una parte del terreno al escurrimiento del agua (Ae) y otra parte del terreno a almacenar el agua que previamente escurrió (As). Ambas áreas deben estar condicionadas para que cumplan con sus objetivos eficientemente.

Como ejemplo de un sistema de captación del agua de lluvia se tiene a la cuenca de aportación de una presa, en donde la cuenca representa el área de escurrimiento y el vaso de la presa constituye el área de almacenamiento. Otro ejemplo para las zonas bajo precipitación ( 600 mm), está constituido por los techos de las casas que corresponde al área de escurrimiento y los depósitos o cisternas que actúan como área de almacenamiento.

La captación in situ del agua de lluvia, según el Manual de Conservación de Suelos del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, es distinta de los ejemplos anteriores, básicamente, por tres aspectos:

(i). Se realiza exclusivamente en cultivos básicos, forrajeros, industriales, vegetación y nativa y frutales.

(ii). Porque el área (Ae), está formada por microcuencas que aportan cantidades adicionales de agua y no tiene que conducir

la a grandes distancias, ya que dicha área (Ae) está adyacente al área destinada al almacenamiento (As).

(iii). Por el área de almacenamiento (As) es el mismo suelo, en la cual se desarrollan las raíces de los cultivos:

Tovar (1978) señala que para inducir el escurrimiento del agua de lluvia, deberá acondicionarse el área de escurrimiento dándole una pendiente adecuada, uniforme, compacta y sin obstáculos. Eso puede hacerse a mano con azadones y rastrillos y a máquina con arados de reja y vertedera, compactando ligeramente. La superficie también se puede acondicionar para captar la lluvia mediante la construcción de bordos, surcos y canales, además de impermeabilizar el área de escurrimiento para inducir el escurrimiento al área de almacenamiento de agua.

Anaya (1975) y Tovar (1977), señalan la conveniencia de acondicionar el área de siembra mediante labranzas adecuadas (barbecho, subsoleo, rastreo e inversión del perfil), uso de coberturas para evitar la evaporación de la humedad del suelo y adiciones de materia orgánica, abonos verdes, estercoladuras, compostas, etc.; de esta manera se propicia la máxima infiltración del agua de lluvia y el desarrollo radical. Anaya (1975) recomienda completar la práctica de captación de agua con la de conservación del suelo, de manera de contar con una verdadera infraestructura del sistema de producción, como son los surcos al contorno, fajas al contorno, terrazas de Zingg y Hauser,

terrazas de absorción y otras.

Respecto a la eficiencia de la captación del agua de lluvia Cluff (1964), citado por Fernández (1977), reporta que en un experimento hecho por la Universidad de Arizona, en USA, en un área donde la precipitación total fue de 501 mm en los 18 meses que duró el experimento, en él se probaron algunos tratamientos para determinar su eficacia en la captación de agua de lluvia. Los resultados demostraron que todos los tratamientos tuvieron diferencias significativas en la eficiencia de captación del agua de lluvia comparados con el testigo, siendo del orden de 35% para el suelo compactado, 40 a 60% para suelo compactado más sal, 70 a 80% para el suelo cubierto de grava más cobertura de polietileno y de 85 a 95% para el suelo asfaltado más cobertura de polietileno.

Tovar (1978) al estudiar la influencia de la captación del agua de lluvia en el rendimiento de forraje y grano de maíz en temporal durante 1974, 1975 y 1976 en Chapingo, considerando para forraje 3 distancias entre hileras 3 distancias entre matas y 2 tratamientos al suelo (con barbecho y sin barbecho), encontró que la técnica de captación del agua de lluvia regulando las distancias entre hileras y entre matas incrementan el rendimiento de maíz para grano y para forraje en comparación con la tecnología tradicional. De sus investigaciones en los ciclos 1974, 1975 y 1976 con maíz para forraje y precipitaciones de 408.0 y 534.8 mm, encontró que las distancias óptimas para produ-

ción de grano y de forraje son 80 y 90 cm entre hileras, reportando rendimientos de 6 ton de grano de maíz por hectárea y de 60 ton de forraje de maíz por hectárea, además que el comportamiento de las distancias entre matas está íntimamente relacionado con la distribución de la lluvia, principalmente en las etapas críticas del ciclo vegetativo.

4.2.1.1.1. Ejemplos de aplicación de la fórmula de (Anaya, et al), para determinar el área de captación

(i) Procedimiento general para diagnosticar la necesidad de obras de captación del agua de lluvia en el cultivo de frijol Cuadro

Cuadro . Balance hídrico para el cultivo del frijol.

Mes	Lluvia (50% Prob.) (mm)	Uso consuntivo del frijol (mm)	Balance hídrico (mm)
Junio	53	93	- 40
Julio	47	97	- 50
Agosto	37	60	- 23
Total	137	250	- 113

Sustituyendo los valores del Cuadro , en la Ec. 1 se tiene:

$$UC - P = 113$$

$$P = 137$$

As = 70 cm separación entre hileras para el frijol (método tradicional).

C = 0.50 (textura media con menos del 5% de pendiente y compactada).

Aplicando la Ec. 1 se tiene:

$$Ac = 70 + \frac{1}{0.50} \left( \frac{113}{137} \times 70 \right) = 182 \text{ cm}$$

Esto quiere decir que en lugar de sembrar el frijol a una distancia de 70 cm entre hileras, deberá sembrarse a una distancia de 182 cm aproximadamente para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. La distancia entre matas permanece inalterada.

(ii). Procedimiento usado con la cultura de maíz.

En el Cuadro , se tiene el balance hídrico para la cultivo de maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala.

Sustituyendo los valores de Cuadro , en la Ec. 1 se tiene:

$$UC - P = 20$$

$$P = 498$$

As = 90 cm entre hileras para maíz

C = 0.50 (textura media menos del 5% de la superficie sin compactar).

Cuadro . Balance hídrico para el cultivo de maíz en la región de Huamantla, Tlaxcala, Méx.

Mes	Lluvia (50% Prda) (mm)	Uso consuntivo del maíz (mm)	Balance hídri co (mm)
Abril	33	67	-34
Mayo	123	109	+14
Junio	152	129	+23
Julio	95	113	-18
Agosto	95	100	- 5
Total	498	518	-20

Aplicando la ecuación 1 se tiene:

$$Ac = 90 + \frac{1.0}{0.50} \left( \frac{20}{498} \times 90 \right) = 97 \text{ cm}$$

Según (Anaya, et al, 1976), cuando el valor calculado del área de escurrimiento que se va agregar al área de siembra sea menor que el 10% con respecto al  $A_s$  como en el caso anterior, no es recomendable considerarlo. Cabe mencionar que esta fórmula representa una importante herramienta de investigación y/o experimentación para encontrar el tamaño adecuado de la microcuenca de captación de agua de lluvia para cultivos en hilera, tupidos y frutales.

(iii) Procedimiento desarrollado para evaluar la captación y aprovechamiento del recurso lluvia como una alternativa para la producción de grano y forraje de maíz en zonas de temporal deficiente (Tovar, 1978).

El presente trabajo de investigación se realizó con dos cultivares, maíz para forraje y maíz para grano, el primero estuvo bajo estudio durante tres ciclos, 1974, 1975 y 1976 y el segundo durante dos ciclos, 1975 y 1976.

En ambos casos tanto el diseño de tratamientos como el diseño experimental se localizaron en el mismo sitio durante los ciclos que duró cada experimento.

(a). Diseño experimental.

Se utilizó un diseño de tratamientos equivalente a un factorial  $3 \times 3 \times 2$ ; las dos primeras variables fueron cuantitativas, la primera, distancia entre hileras, con los niveles: 80, 110 y 140 cm para el maíz de grano y 90, 120 y 150 cm para el maíz de forraje; la segunda, distancia entre matas, con los niveles 55.6, 41.6 y 33.4 cm para el maíz de grano y 27.8, 22.2 y 18.6 cm para el maíz de forraje; la tercera variable fue cualitativa, tratamiento al suelo, identificándose los "niveles" con y sin paso de arado en ambos cultivares.

De las combinaciones de estas tres variables se genera-

18 tratamientos los que se distribuyeron en el campo de acuerdo al diseño experimental de bloques al azar con 3 repeticiones. La lista de los 18 tratamientos estudiados en cada cultivar se detallan en los Cuadros y en donde se especifican las características de cada uno de ellos.

(b). Tamaño de los lotes experimentales.

Los lotes en los cuales se realizaron los experimentos que integran el presente estudio, fueron del mismo tamaño, cada uno de ellos estuvo formado de 18 tratamientos con tres repeticiones lo que da un total de 54 parcelas cuyas dimensiones fueron de 7.0 m de largo por 7.0 m de ancho ocupado una superficie de  $49 \text{ m}^2$  cada una, las calles entre parcelas fueron de 1.0 de ancho y entre repeticiones de 2.5 m de ancho, cada lote ocupó una superficie total de  $4125 \text{ m}^2$ .

(c). Construcción de las parcelas.

Dentro de cada parcela y de acuerdo a su distribución al azar se trazaron y construyeron el número de surcos correspondientes a cada uno de ellas. En la Fig. se muestra el corte transversal de los surcos utilizados en este estudio.

(d). Delimitación del área de escurrimiento ( $A_c$ ) y del área de siembra ( $A_s$ ), según Ec. 1, (Anaya, Tovar y Macias, 1976).

Para fines de estudio se consideró a las distancias de 80 y 90 cm como testigos del maíz para grano y para forraje respectiva-

Cuadro . Relación de tratamientos probados en el experimento para la producción de grano de maíz.

Tratamiento No.	Distancia en tre hileras (cm)	Distancia en tre matas (cm)*	Tratamiento al suelo
1	80	55.6'	Con barbecho
2	80	55.6	Sin barbecho
3	80	41.6''	Con barbecho
4	80	41.6	Sin barbecho
5	80	33.4'''	Con barbecho
6	80	33.4	Sin barbecho
7	110	55.6	Con barbecho
8	110	55.6	Sin barbecho
9	110	41.6	Con barbecho
10	110	41.6	Sin barbecho
11	110	33.4	Con barbecho
12	110	33.4	Sin barbecho
13	140	55.6	Con barbecho
14	140	55.6	Sin barbecho
15	140	41.6	Con barbecho
16	140	41.6	Sin barbecho
17	140	33.4	Con barbecho
18	140	33.4	Sin barbecho

\* Cada mata estuvo formada por 2 plantas.  
 ' Equivale a 45,000 plantas por hectárea en hileras a 80 cm  
 '' Equivale a 60,000 plantas por hectárea en hileras a 80 cm  
 ''' Equivale a 75,000 plantas por hectárea en hileras a 80 cm



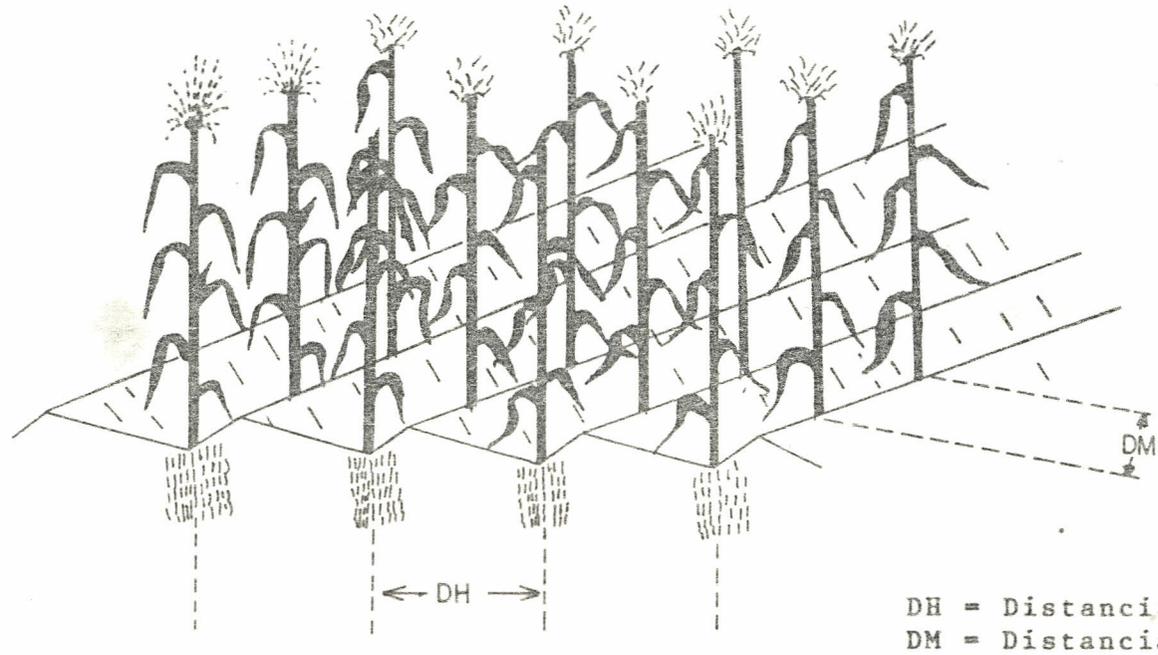


Fig. 5 Esquema del corte transversal de la distancia entre hileras y la distancia entre plantas (Tovar, 1978).

Cálculo del número de surcos y plantas, distancias y superficiales correspondientes a los experimentos para la producción de grano y de forraje de maíz.

Número de surcos por hectárea	Superficie útil por parcela (m <sup>2</sup> )	NUMERO DE PLANTAS			Distancia entre matas (cm)	Superficie por planta (m <sup>2</sup> )
		Por hectárea	Por surco de 100 m de largo	Por parcela útil		
125	8	45,000	360	36	55.6	0.22
		60,000	480	48	41.6	0.167
		75,000	600	60	33.4	0.133
91	11	32,760	360	36	55.6	0.306
		43,680	480	48	41.6	0.229
		54,600	600	60	33.4	0.183
71	14	25,560	360	36	55.6	0.389
		34,080	480	48	41.6	0.292
		42,600	600	60	33.4	0.233
111	9	80,000	721	72	27.8	0.125
		100,000	901	90	22.2	0.100
		120,000	1081	108	18.6	0.083
83	12	59,843	721	72	27.8	0.167
		74,783	901	90	22.2	0.133
		89,723	1081	108	18.6	0.111
67	15	48,307	721	72	27.8	0.208
		60,367	901	90	22.2	0.167
		72,427	1081	108	18.6	0.139

mente, puesto que éstas son las distancias tradicionales empleadas por los agricultores de la zona, sobre esta base se dieron espaciamientos extras de 0, 30 y 60 cm de distancia para conformar lo que se denominó como área de escurrimiento, quedando finalmente las distancias de 80, 110 y 140 m para el maíz de grano y de 90, 120 y 150 cm para el maíz de forraje.

(e). Cálculo del número de surcos y plantas, distancias y superficies correspondientes a los experimentos para la producción de grano y de forraje de maíz.

La variedad empleada en todos los casos fue el maíz H-127, cuyas distancias entre matas y número de plantas por parcela se presentan en el Cuadro .

(f). Rendimientos de granos y forraje verde de maíz.

En las Figs. y se describen el comportamiento del rendimiento de grano y forraje verde para las variables distancia entre hileras, distancia entre plantas y tratamientos al suelo para los dos ciclos. Se observa una tendencia bien definida a que exista un incremento en los rendimientos a medida que decrecen tanto la distancia en tre hileras como la distancia entre matas.

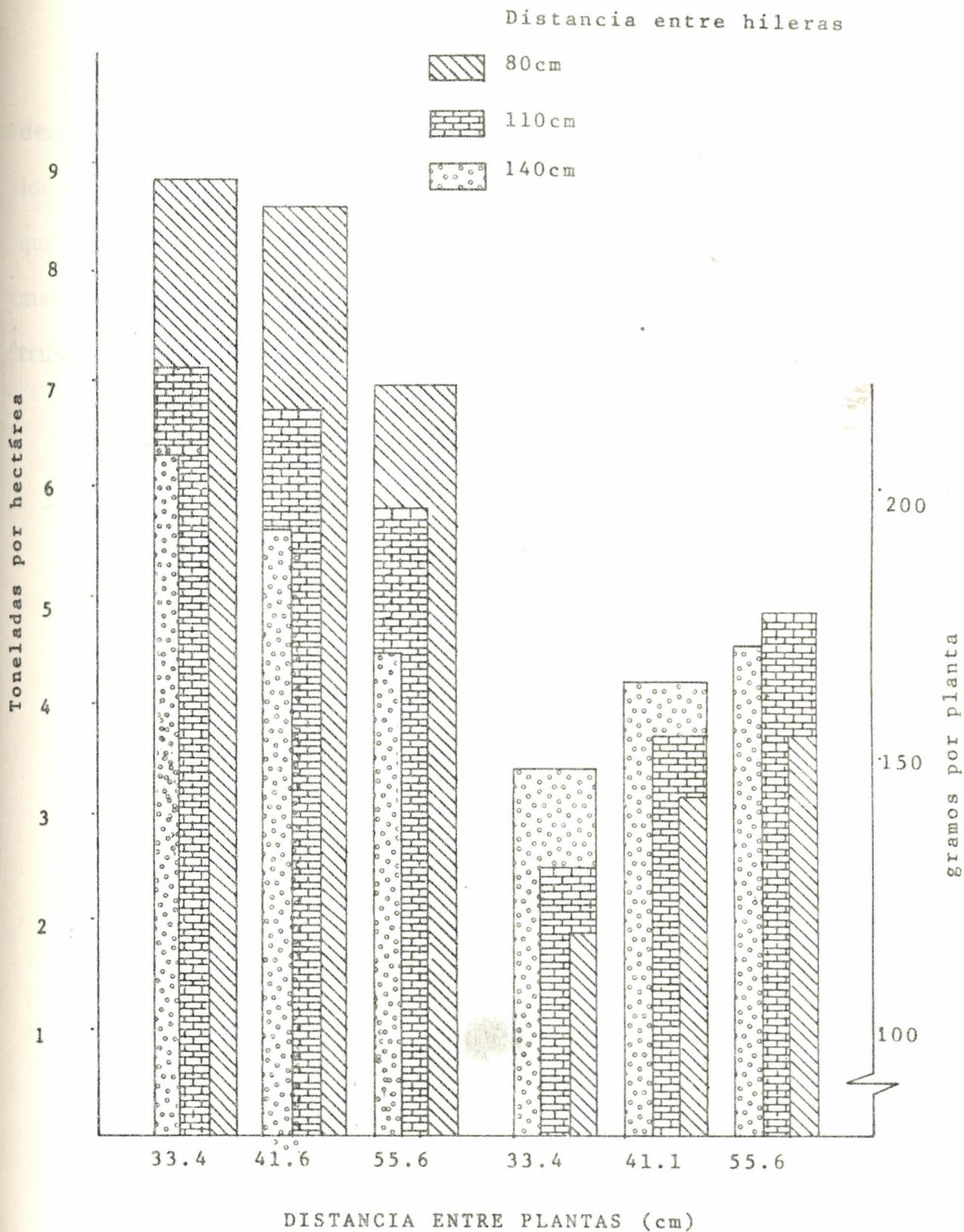


Fig. 6 Rendimiento de grano de maiz al 14 % de humedad en ton/ha, y en gramos por planta. Promedio de 1975-1976.

(g). Análisis combinado de los tres ciclos.

En la Fig. , se observan nuevamente las mismas tendencias que se presentaron en la producción de forraje verde (Fig. ), los cuales consisten en que los rendimientos se incrementan a medida que disminuye la distancia entre hileras y que tanto las distancias entre matas así como el tratamiento al suelo se comportan de acuerdo a la distribución de las lluvias.

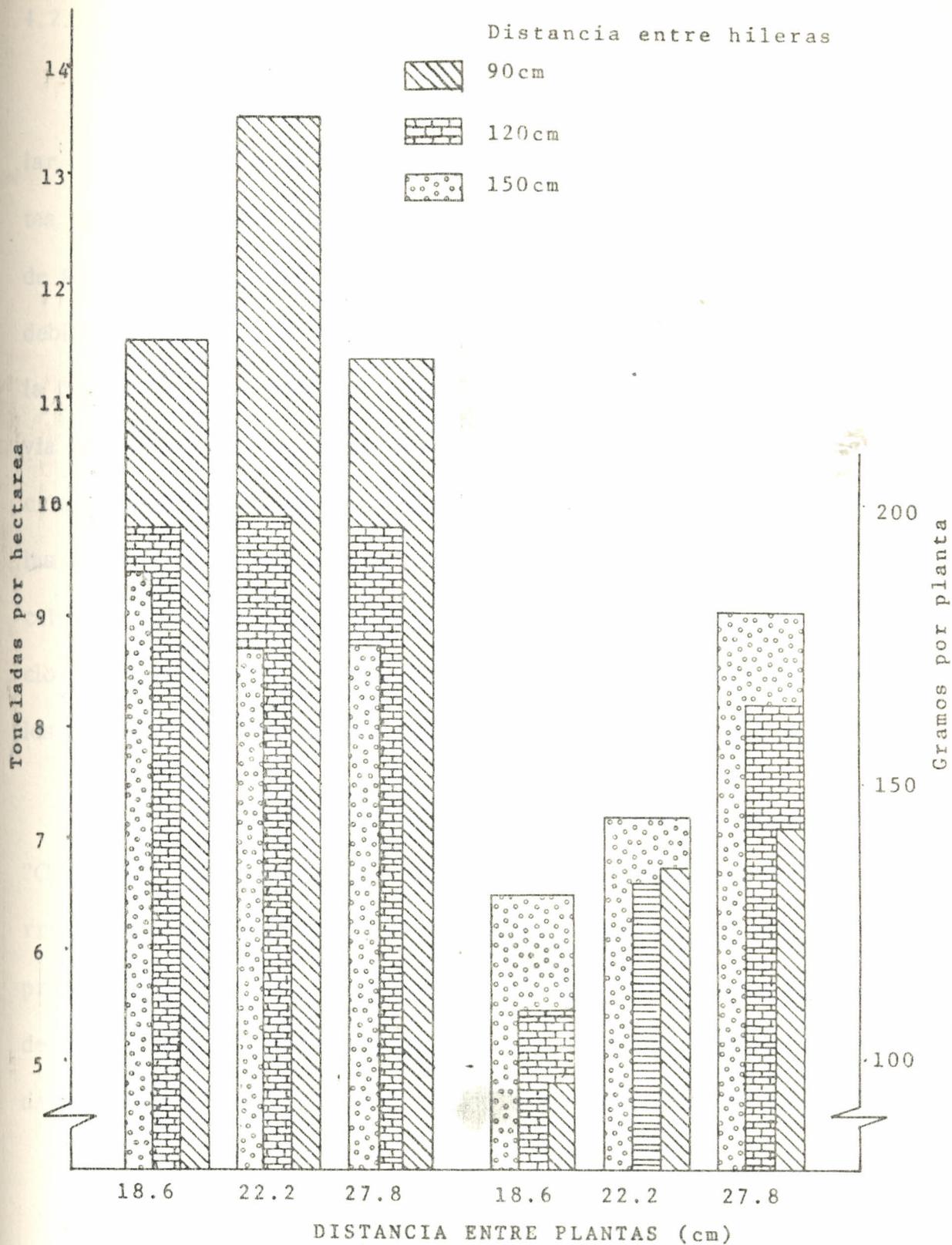


Fig. 7 Rendimiento de forraje seco de maíz, ton/ha y en gramos por planta. Promedios de los ciclos 1974-1975-1976.

#### 4.2.1.2. Captación del agua de lluvia del Sistema (SAES).

La escasez del agua de lluvia y su distribución irregular, provocan en Noreste de Brazil grandes regiones de secano deficientes para producción agropecuaria. También se observa el incremento de áreas con problema de desertificación que entre otras causas, es debido al mal manejo del agua de lluvia y de los suelos agrícolas. En la Figura , se demuestra la comparación de la distribución de lluvia con el uso del agua por las culturas en regiones de baja precipitación ( 600 mm), según (Liu, 1978). Se observa en esta Figura que las tendencias de las curvas de precipitación y del uso consuntivo del cultivo y presentan un déficit de agua durante algunos períodos del ciclo de las culturas, y estos son bastantes perjudiciales se coincide con los períodos críticos de las minas (Magalhaes, 1977 y Anaya, 1976).

En el área del Campo Experimental de Manejo de la "Caatinga", en la Figura , la cual permite observar la área de escurrimiento superficial (Ae), el tanque de sedimentación (TS), el tanque principal (T) y la área bajo cultivo (ABC), y también los parámetros de la "Ecuación Universal para estimar Pérdidas de Suelo", desarrollada por (Wischmeier y Smith, 1965), que a continuación se detalla:

$$E = RKSLCP \dots\dots\dots(2)$$

donde:

E = Pérdida de suelo por unidad de área (ton/ha) en un determinado período.

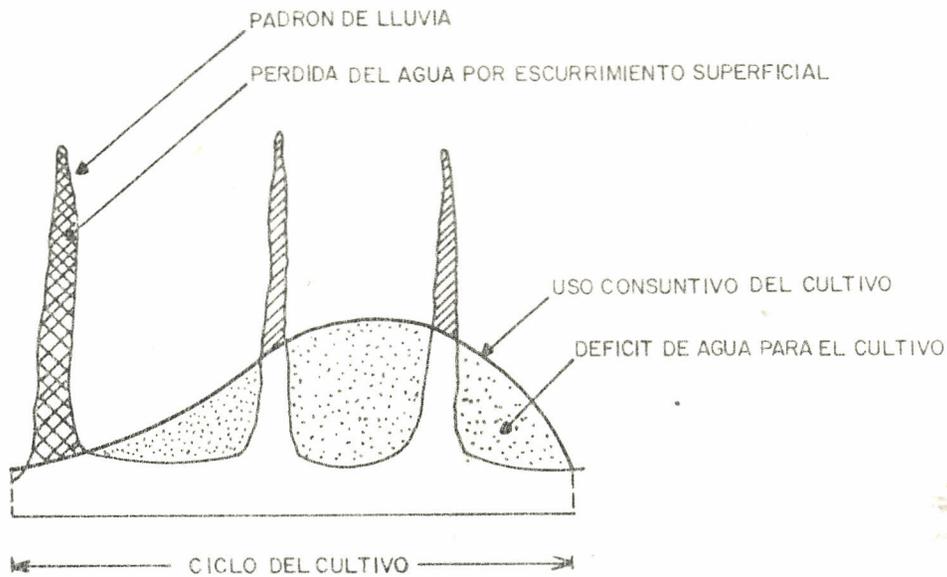


Fig. 8 Comparación de la distribución de lluvia con el uso del agua por los cultivos en regiones de baja precipitación(Liu,1978).

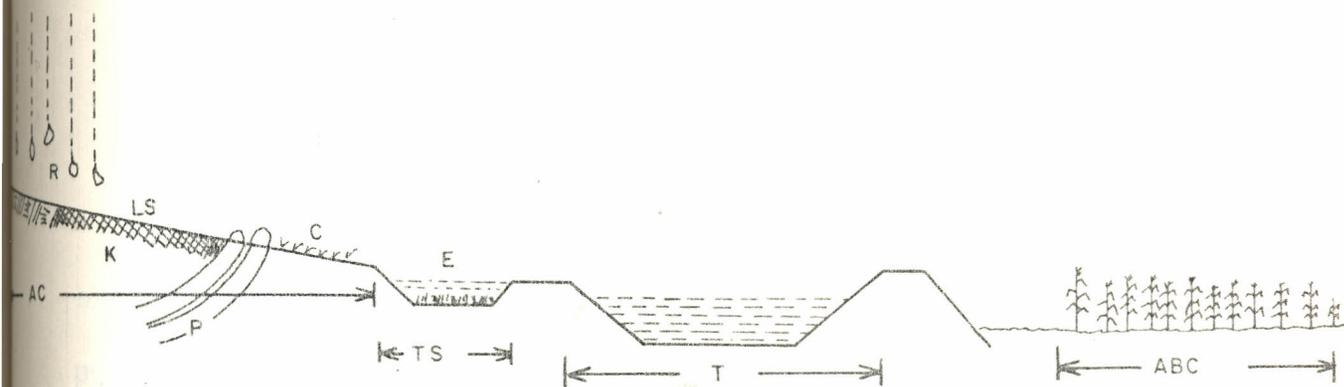


Fig. 9 Captación del agua de lluvia en tanques de almacenamiento y parametros de la "Ecuación Universal para Estimar Pérdidas de Suelo"(Wischmeir y Smith,1965).

- R = Erosividad o capacidad erosiva de la lluvia (número de unidades índice - erosión con la lluvia de un año normal).
- K = Erodibilidad o susceptibilidad del suelo a erosionarse (es la proporción de erosión por unidad índice - erosión, sufrida por un determinado suelo en continuo barbecho en una longitud de 22.13 m y una pendiente del 9%).
- S = Pendiente del terreno (es la proporción de pérdida de suelo debida a la pendiente del terreno comparada con otro con 9% de pendiente).
- L = Longitud de la pendiente (es la proporción de pérdida de suelo por longitud de la pendiente en relación a otro con una longitud de 22.13 m con el mismo tipo de suelo y pendiente).
- C = Prácticas vegetativas (es la proporción de pérdida de suelo sufrida por un terreno con un determinado cultivo y manejo, en relación a otro en condiciones de barbecho bajo el cual se evalúa el factor K).
- P = Prácticas Mecánicas o de Conservación de Suelos (es la proporción de pérdidas de suelo de un terreno con surcado al contorno, cultivo en fajas o terrazas, en relación a otro con surcos angostos trazados en el sentido de la pendiente).

De estos factores, los primeros dos (R y K) son invariables para un determinado tiempo y espacio, los segundos (S y L), se pueden alterar solo si se modifica el relieve, por lo tanto también se consideran relativamente constantes. Solo los dos últimos factores (C y P), son manejables por el hombre para reducir las pérdidas de suelo por erosión (E).

Los factores R, K, L y S son los que le dan magnitud a la erosión; C y P, que en la ecuación varían de 0 a 1, son atenuan

tes de ella. Por ejemplo, si bajo determinadas condiciones la erosión sufrida por un terreno es de 8 ton/ha/año, y se estableciera una rotación maíz-maíz-avena con trebol dulce intercalado, que según Wischmeier y Smith tiene un valor de  $C = 0.32$ , por ese hecho la erosión se reduce a 2.56 ton/ha/año. Si además se siguiera la práctica de surcado al contorno ( $P = 0.50$ ), entonces la erosión resultante sería del orden de 1.28 ton/ha/año (Wischmeier y Smith, 1965).

Esfuerzos de investigación similares a los de E.U.A., se han iniciado ya en varios países del mundo tratando primeramente de detectar los principales factores involucrados en el proceso de la erosión y después lograr su control mediante prácticas vegetativas y mecánicas adaptables a su situación particular. Mientras tanto, es particularmente importante la difusión de los resultados de investigación, por tratarse sobre todo de una ciencia nueva (Trueba, 1978).

4.21.2.1. Captación de lluvia para tanques de almacenamiento en el sistema (SAES).

La ecuación 1 desarrollada por (Anaya, Tovar y Macias, 1976), se puede analizar para calcular el área de escurrimiento para abastecer el volumen de un tanque de almacenamiento en el sistema (SAES), quedando la ecuación de la manera siguiente:

$$A_c = \frac{V_{at}}{P \cdot C} \dots\dots\dots ( 2 )$$

donde:

$A_c$  = Tamaño de la microcuenca de captación.

$V_{at}$  = Volumen de almacenamiento del tanque (Barreiro).

$P$  = Precipitación al 50% de probabilidad.

$C$  = Coeficiente de escurrimiento

$$\left( C = \frac{\text{Vol. escurrido}}{\text{Vol. llovido}} \times 100 \right)$$

Como el volumen esta dado en metros cúbicos y la precipitación en metros el resultado está en metros, donde el tamaño de la microcuenca es igual a el tamaño del área de escurrimiento.

En los Cuadros y , se encuentran los datos estimados relativos a la precipitación (Hargreaves, 1973) y a la selección del Coeficiente de Escurrimiento según (Manual de Conservación del Suelo, Chapingo, México).

Cuadro . Precipitaciones para Petrolina, PE., a diferentes niveles de probabilidades, según (Hargreaves, 1973), usando distribución gamma.

Mes	Promedio	PROBABILIDADES				
		95	75	50	25	5
Enero	52	0	6	25	69	193
Febrero	76	0	8	35	103	299
Marzo	92	1	11	46	124	343
Abril	43	0	1	10	48	196
Mayo	7	0	0	1	6	35
Junio	4	0	0	0	3	20
Julio	2	0	0	0	2	12
Agosto	2	0	0	0	2	10
Septiembre	3	0	0	0	2	18
Octubre	9	0	0	1	8	44
Noviembre	46	0	2	16	56	189
Diciembre	64	0	6	29	85	248
ANUAL	400	176	282	378	494	698

Cuadro . Coeficiente de escurrimiento (C) de algunos suelos cultivados según su textura y pendiente.

Topografía	Pendiente (%)	Textura del suelo		
		gruesa	media	fin
Plano	0 - 5	0.30	0.50	0.60
Ondulado	6 - 10	0.40	0.60	0.70
Escarpado	11 - 30	0.52	0.72	0.82

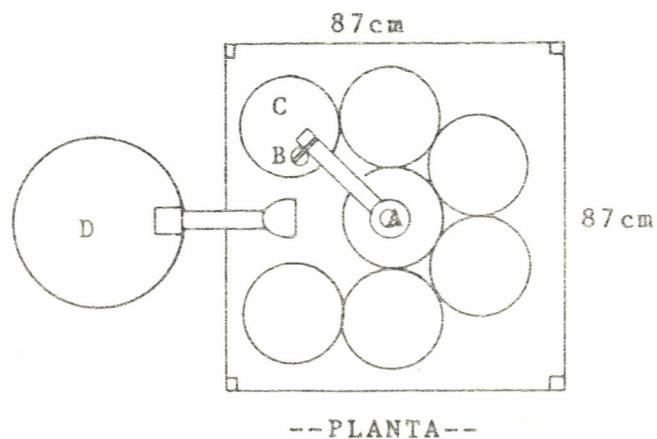
#### 4.2.1.2.2. Algunos aparatos utilizados en el sistema (SAES).

Los dispositivos de medida que se utilizan son muy diversos, siendo su construcción y funcionamiento de relativa facilidad.

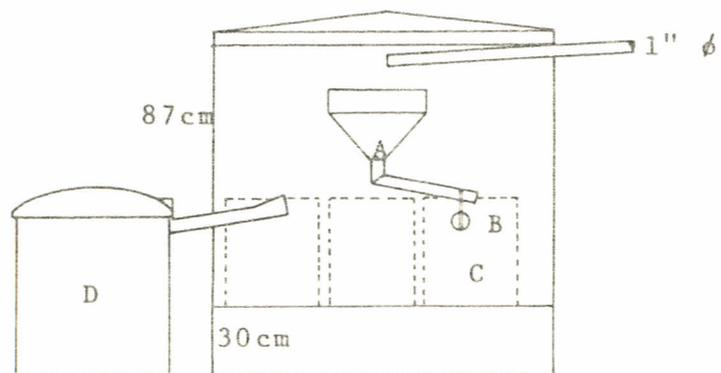
##### (a). El colector tipo Coshocton, descripción y operación.

El aparato funciona automáticamente el muestreo continuo comienza al llegar la acometida del flujo a la trampa, donde el 1% del escurrimiento es derivado por gravedad al sistema colector. La muestra es depositada a través de un sistema de distribución relativo a unas cubetas numeradas del 1 al 6 en secuencia (Ver Figura ).

La capacidad de cada cubeta es de 4 litros, por lo que si se considera que el sistema capta el 1%, cada cubeta representa 400 litros escurridos a través de la estación de aforo y una capacidad total de 2,400 litros; en caso de escurrimientos mayores, el distribuidor queda permanentemente conectado a un tanque colector de excedencias.



Vista del area experimental



- A + Embudo y brazo de distribución
- B = Flotador
- C = Cubetas muestreadoras
- D = Tanque colector de excedencias

Obs: Además utiliza un sistema de relojería y una batería de 12 volts.

Fig. 10 El colector tipo Coshocton

El sistema opera accionado por una batería o pila seca de 6 voltios que desempeña las funciones eléctricas del mecanismo:

(i). Al llenarse la cubeta con la alícuota del flujo, el flotador del brazo distribuidor sube y cierra un circuito eléctrico con un pequeño motor que hace girar al brazo distribuidor a la siguiente cubeta, entonces el flotador cae y desconecta el circuito.

(ii). Mientras recibe energía el motor, hace girar al embudo y su brazo distribuidor a la siguiente cubeta mediante un juego de poleas de transmisión y una banda de cuero.

(iii) Al cerrarse el circuito se envía también una señal a sistema de relojería que registra los intervalos de tiempo con que se llena cada cubeta.

El colector tipo Coshecton se encuentra alojado en un pozo construido para tal fin con paredes revestidas por losas de concreto y peso de grava de 0.50 m de espesor que funciona como resumi-  
dero para que no se anegue.

(b). El divisor de Geib.

Es lo más común en los Estados Unidos, cuyo funcionamiento es el siguiente Ver Fig.

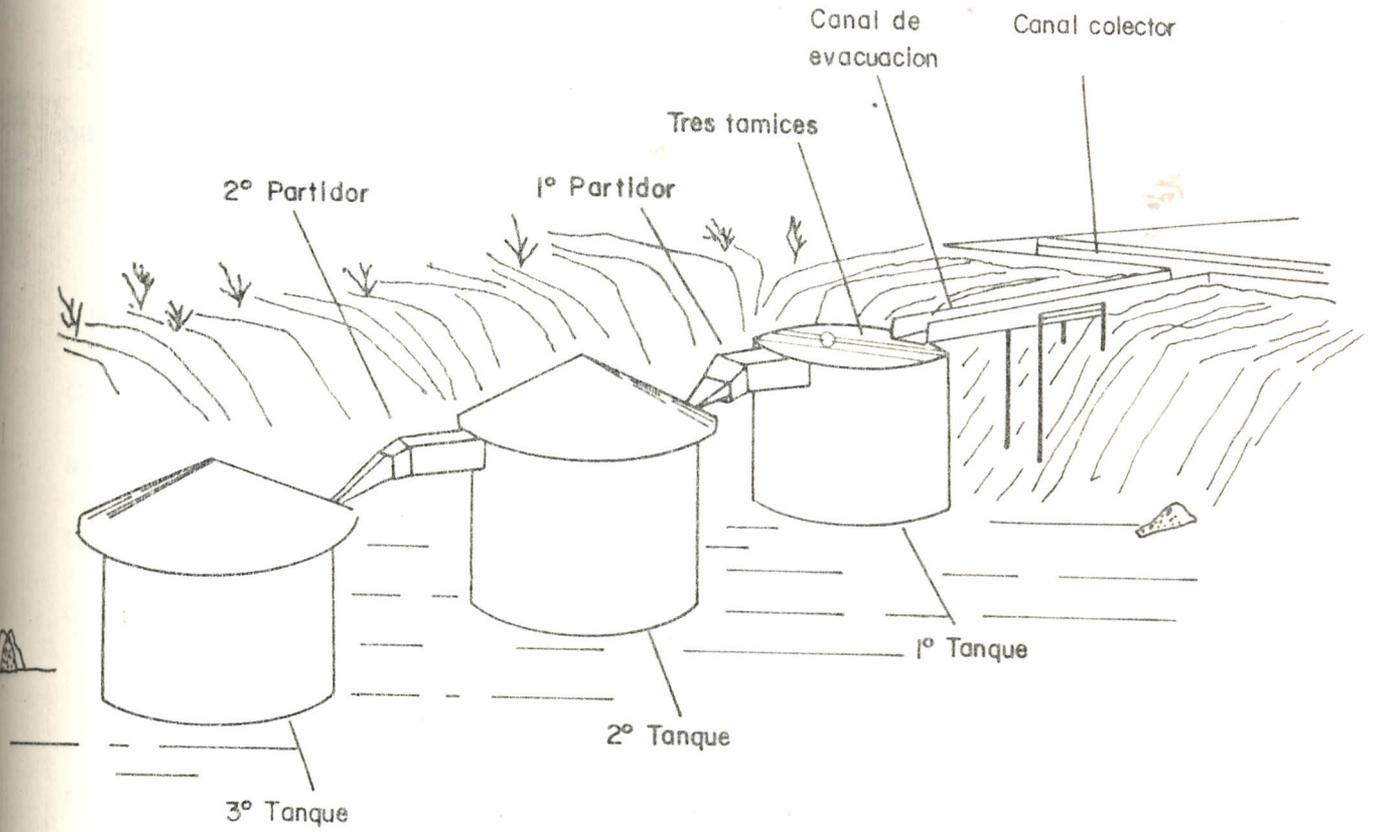


Fig. 11 Dispositivo para medir la cantidad de suelo y aguas producto de la escorrentia.

La escorrentía de la parcela se concentra en una especie de embudo situado en el punto de cierre. De aquí mediante un canal pasa a un tanque de sedimentación, el cual retiene la mayor parte de la tierra que transportan las aguas y que procede de la denudación del suelo de la parcela. Al repasar este tanque, la escorrentía pasa a través de una o varias cajas distribuidas a un segundo tanque de captación.

Las cajas distribuidoras son de modo esquemático, placas con un número determinado de ranuras verticales e iguales, las cuales dividen el flujo del agua en partes alicuotas. De esta manera al segundo tanque de captación llega únicamente una fracción representativa del flujo total que por su pequeña cuantía facilita el hacer las determinaciones que en cada caso se requieran.

Después de cada lluvia se determina el peso conjunto de agua y suelo recogido en cada tanque y se toman muestras representativas en los cuales siguiendo técnicas de laboratorio adecuada se determinará el peso de tierra que contiene.

(c). Infiltrómetro de doble desagüe para la determinación de las curvas de infiltración del suelo, según (Silva, Anaya y Riestra, 1975).

La determinación de las curvas de infiltración en las zonas susceptibles de desertificación, generalmente, son difíciles de ser determinadas en condiciones de campo, por los métodos tradicionales.

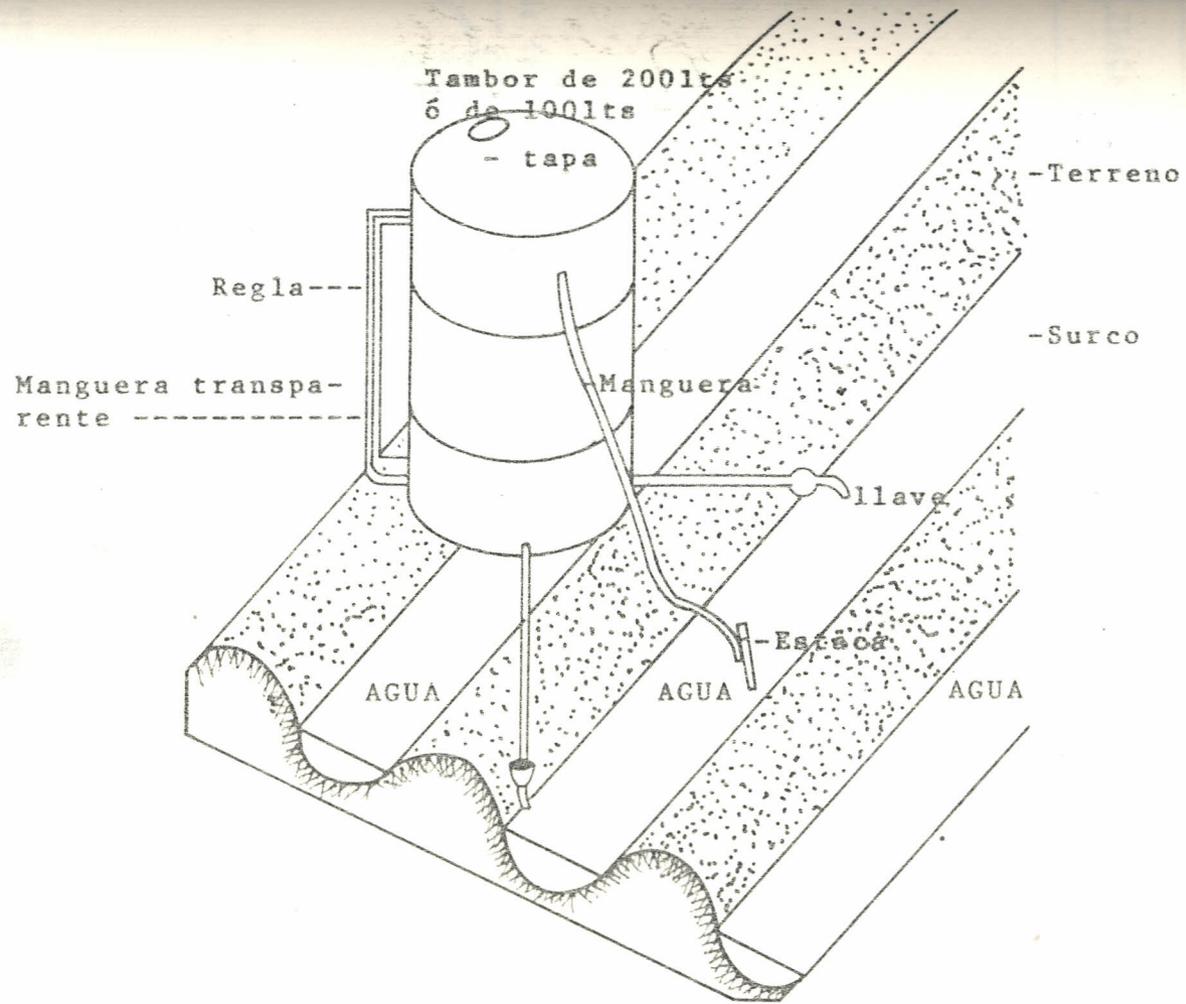


Fig. 12 Metodo del infiltrometro de doble desague para surcos

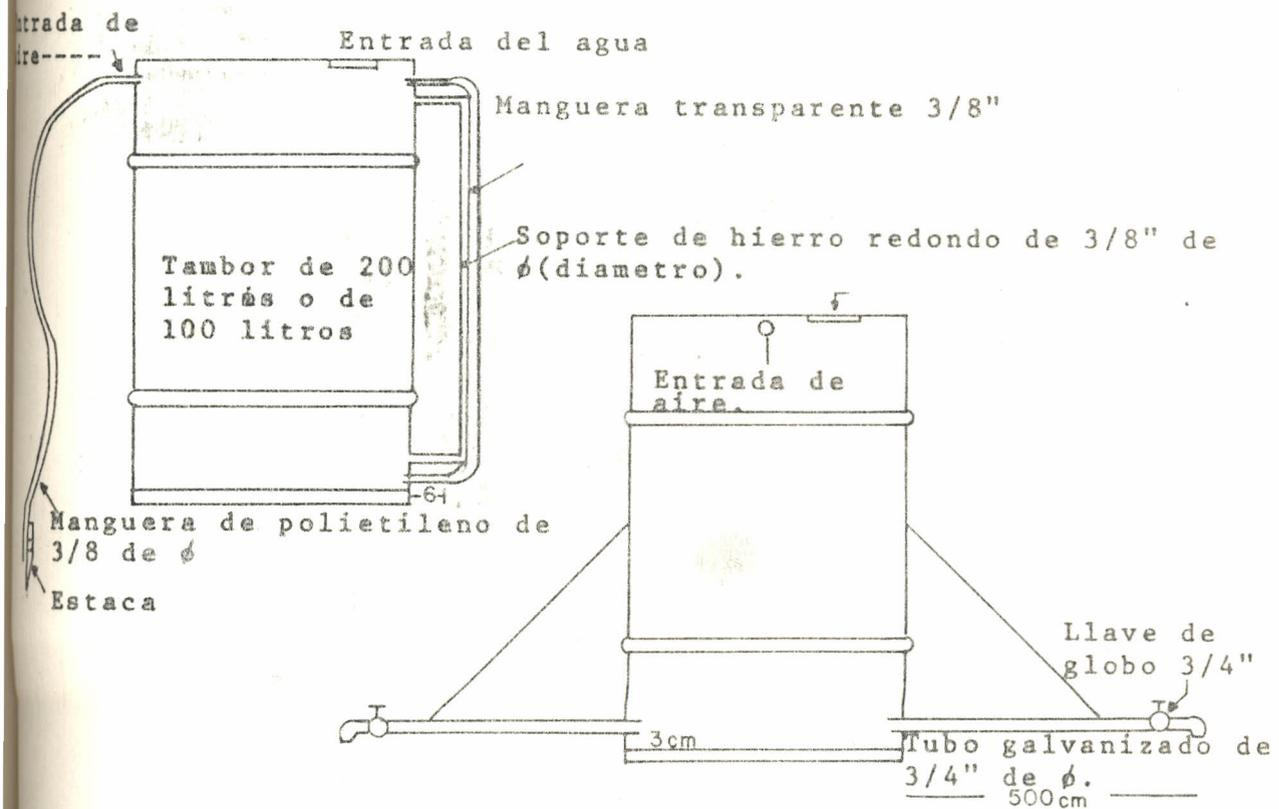
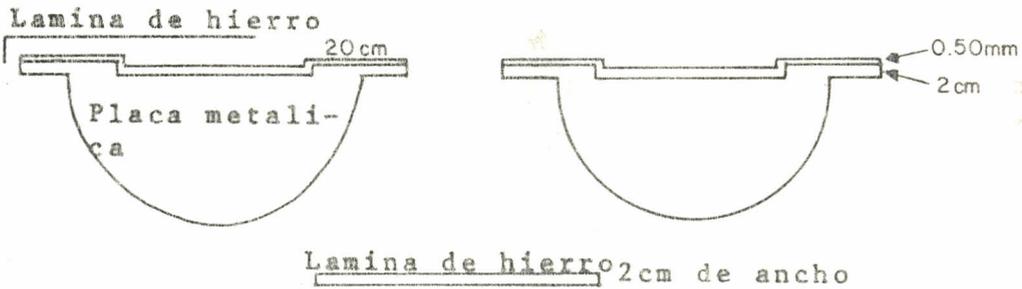
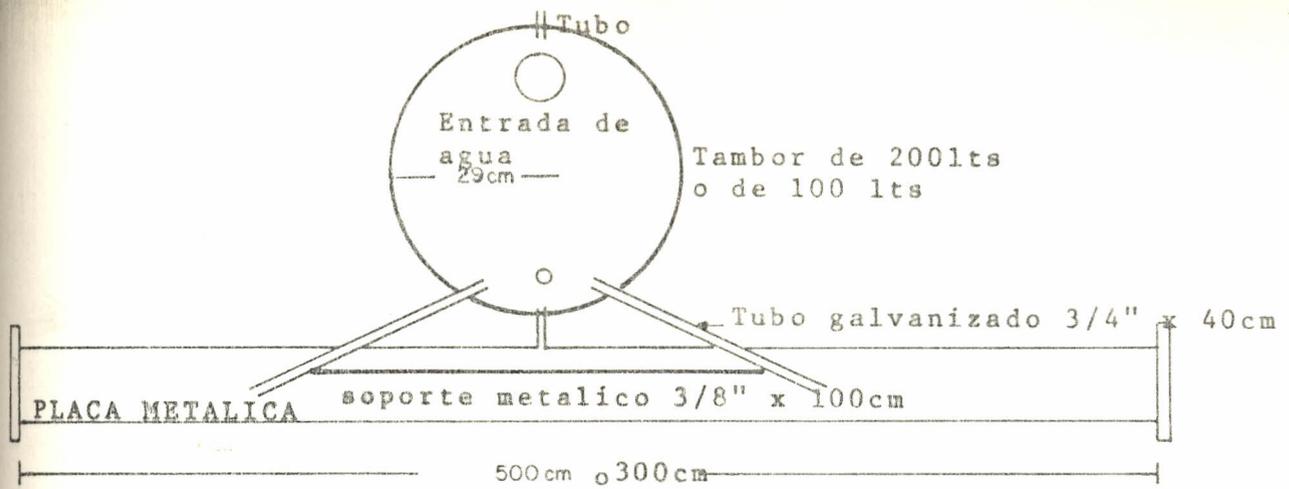


Fig. 13 Vista de planta y de frente del "Infiltrómetro con doble desague para surcos, modificado de Boers y Millar, 1974.

Por este motivo (Silva, Anaya y Riestra, 1975), han desarrollado un aparato modificado de (Boer y Millar, 1974), el cual es descrito a la continuación.

(i). Se utiliza un tambor con capacidad de 100 ó 200 litros que lleva soldado cerca de la base dos tubos de 50 cm de largo por  $3/4$  de pulgada de diámetro. En el extremo de estos tubos se coloca un regulador (llave para controlar el paso del agua). En la parte superior del tambor se encuentra soldada otra fracción del tubo de 10 cm de longitud por  $3/8$  de pulgada de diámetro que va conectada a una manguera que sirva para regular la altura de agua en el surco, ver Figs. y .

(ii). Se colocan otros dos tubos, uno en la parte inferior y otro en la parte superior los cuales están conectados por una manguera transparente y una regla con el objeto de poder medir los cambios del volumen de agua en el tambor.

(iii). Se construyen dos placas de hierro de forma semi-circular de un radio aproximadamente de 30 cm, ver Fig. .

(C<sub>1</sub>). Procedimiento para su utilización.

(i). Se selecciona un área que tenga surcos o se hacen los surcos, siendo un mínimo de tres donde dos surcos funcionan como amortiguadores, y el central se utiliza para realizar las pruebas de infiltración.

(ii). Se instalan las dos placas de hierro perpendiculares en el surco central, con una separación conocida de 3 a 5 m, ver Fig. (se deben introducir las placas en el suelo hasta una profundidad de 10.0 a 15.0 cm).

(iii). Se coloca un plástico sobre la superficie del surco entre las 2 placas de hierro y luego se aplica una cantidad de agua que sea igual a la lámina de riego durante un riego normal. Al mismo tiempo, se amarra una estaca en el extremo de la manguera de entrada de aire.

(iv). Después que el tambor está lleno de agua, se cierra herméticamente, y la única salida de agua es por las llaves reguladoras; por lo tanto, el aire entrará solamente por la manguera de plástico. (Su funcionamiento se basa en el principio de Boyle y Mariotte).

(v). Al iniciar la prueba debe retirarse el plástico del tramo de surco e inmediatamente abrir las dos llaves reguladoras y colocar la estaca con la manguera de entrada de aire dentro del surco, ver Fig. , de tal forma que la salida de la manguera quede al mismo nivel que la superficie de agua dentro del tramo del surco. Al mismo tiempo, con ayuda de un cronómetro, se registra el tiempo cero (inicio de la prueba de infiltración) y se marca el nivel del agua en el tambor. Al infiltrarse agua en el surco la lámina de agua disminuye, entra aire en la manguera y el agua del tambor comienza a salir por las llaves

reguladoras hasta que se establece el equilibrio.

Según Queiroz y Millar (1975) cuando la infiltración es muy rápida, pueden ser necesarios 2 tambores pero esto es preferible a disminuir el espaciamiento de las placas de hierro cuando se utiliza un solo tambor.

(vi). Para un mejor funcionamiento de este método se recomienda que las llaves de salida del agua trabajen sumergidas dentro de unos pequeños recipientes (botes), los cuales pueden ir amarrados a las llaves cuando éstas se encuentran abiertas.

(C<sub>2</sub>). Comparación general del "infiltrómetro con doble desague" sobre otros métodos de determinación de curvas de infiltración.

El infiltrómetro con doble desague para surcos fue diseñado con la finalidad de mantener un nivel del agua constante en el tramo del surco lo que corresponde a la lámina que se produce durante un riego normal del cultivo cuando se efectúa la prueba de infiltración.

Las ecuaciones de infiltración, determinadas por el método de infiltrómetro de doble desague para surcos y por el infiltrómetro de doble cilindro, presentaron los parámetros "n" de la ecuación de infiltración de Kostiakov ( $z = Kt^n$ ) muy semejantes, mientras que con los otros métodos usados no se obtuvo los mismos resultados.

Al comparar las ecuaciones obtenidas por los diferentes métodos se llega a las mismas conclusiones de Queiroz y Millar en el sentido de que hay un mayor coeficiente de correlación cuando se gráfica la infiltración acumulada, en lugar de la velocidad de infiltración.

Finalmente, después de analizar el "método del infiltrómetro con doble desagüe para surcos", modificado del infiltrómetro de surcos de Boers y Millar (1974), se llega a la conclusión de que, tanto el método original como el modificado estiman mejor la velocidad de infiltración que los métodos comunmente usados como por ejemplo el infiltrómetro de anillos.

Para obtener una mejor estimación de la infiltración, se recomienda que las llaves de salida del agua en el infiltrómetro de doble desagüe para surcos funcionen sumergidas dentro de pequeños recipientes (botes) con el objeto de evitar la entrada del aire cuando se encuentra trabajando.

Las ecuaciones presentadas en este trabajo de infiltración acumulada y de velocidad de infiltración fueron determinadas a través del método de carga constante y analizadas por medio de regresión lineal usando el método de los mínimos cuadrados como ya mencionamos anteriormente.

(C<sub>3</sub>). Algunas ventajas y desventajas del "infiltrómetro con doble desagüe" sobre otros métodos para la determinación de curvas de infiltración.

Los ensayos comparativos entre los métodos usados nos muestran que el método del infiltrómetro de doble desagüe para surcos presenta las siguientes ventajas:

(i). Utiliza un área superior a los infiltrómetros de doble cilindro y disminuye los errores causados por la heterogeneidad del sitio.

(ii). Fácil registro de lecturas y reposición de agua mediante dos tambores de 100 litros a 200 litros, que pueden usarse alternadamente.

(iii). Facilidad de instalación.

(iv). Con respecto a los medidores de Parshall, tiene la ventaja de controlar los problemas ocasionados por la variación de la carga hidráulica en el vertedor de entrada.

(v). Su construcción requiere de poca mano de obra y el precio es muy bajo como se puede apreciar en el Cuadro , donde se presenta los costos.

Cuadro . Costos de infiltrómetro de doble desague (junio, 1979).

MATERIAL	Costos	
	U.S.	Cruzeiros
Tambor metálico con capacidad de 200 lts	8.70	200
2 Llaves de globo 3/4" para regular salida del agua	8.70	200
Manguera, tubos y soportes de hierro	4.35	100
Mano de obra (soldadura eléctrica)	13.04	300
Placas de hierro para limitar los extremos del surco (se puede substituir por un material más barato).	8.70	200
T O T A L	43.49	1000

(C<sub>4</sub>). En el Cuadro , se demuestra un ejemplo de como determinar la infiltración acumulada, en cm, bajo el método del infiltrómetro de doble desague.

Cuadro . Ejemplo numérico del cálculo de las curvas de infiltración por medio del "infiltrómetro de doble desague" para surcos.

Hora	Tiempo acumulado (minutos)	Altura*	Volumen** infiltrado (litros)	Infiltración *** acumulada (cm)
12:45				
12:48'30"	3.5	14.1	33.42	1.11
12:53	8	21.2	40.24	1.67
12:55	10	24.1	57.19	1.90
13:00	15	30.1	71.34	2.37
13:05	20	35.8	87.85	2.82
13:15	30	46.1	109.26	3.63
13:25	40	55.7	132.01	4.39
13:31	46	60.8	144.10	4.79
13:37	52	65.9	156.18	5.20
13:43	58	71.0	168.27	5.60
13:49	64	76.1	180.26	6.01

Factor, 1 cm = (+) 2.37 litros.

\* Lectura del nivel del agua en el tambor en cm

\*\* Una diferencia de 1.0 cm del nivel de agua en el tambor para este caso corresponde al volumen de 2.37 litros.

\*\*\* La longitud del surco es de 3.0 m y el espaciamiento básico fue de 1 m entonces un volumen de 1 litro corresponde a:

$$\frac{0.001 \text{ m}^3}{3.0 \text{ m}^2} = 0.03 \text{ m}$$

Infiltración acumulada  
 $z = 0.50 \text{ TO}.59 \quad r = 0.99$   
 $I = 17.70 \text{ T}^{-0.41}$

#### 4.3. Métodos no convencionales de riego para el desarrollo de la agricultura tradicional.

Los métodos de aplicación del agua de riego a través de unidades porosas, no son de hoy conocidos, es suficiente decir que los romanos ya utilizaban. Sin embargo, en la actualidad muchos investigadores se han dedicado a desarrollar estos métodos con la finalidad de establecer en forma comercial. Mientras que los resultados hasta entonces obtenidos no lo permita, éstos métodos pueden resultar interesantes con fines de investigación, ya que prácticamente toda el agua suministrada es utilizada por las plantas.

En el "Centro de Pesquisa Agropecuaria do Tropicó Semi-Arido (CPATSA/EMBRAPA)", en Petrolina, PE, Brazil, en la Rama de Riego y Drenaje del C.P., Chapingo, México, en el Instituto de Suelos del IRAN, y otras instituciones se han realizado una serie de estudios sobre estos métodos de riego, tendientes a observar los principales problemas que se presentan en su operación tanto en el invernadero como en el campo, así como los volúmenes de agua proporcionados y el desarrollo de algunos cultivos cuando submetidos a ellos.

##### 4.3.1. Riego por succión.

Este método consiste de una serie de cápsulas porosas de barro cocido conectadas entre sí, las cuales se introducen en el suelo, se llenan completamente de agua desalojando todo el aire del interior del sistema y se conectan a una fuente de abastecimiento. El

nivel del agua en la fuente de abastecimiento es inferior al de las cápsulas; a este desnivel se le conoce como altura de succión. El flujo de agua a través de la pared de la cápsula se debe a la diferencia de potencial que existe en el agua dentro y fuera de la cápsula. (Ver Fig. ).

#### 4.3.1.1. Calibración de un modelo matemático.

El trabajo desarrollado por (Rendon, 1979), constituye un gran avance para los métodos no convencionales de riego, ya que hasta la fecha, los trabajos que se han realizado sobre este tema, tratan sobre los problemas desde el punto de vista de su operación y de la capacidad que tiene para mantener el potencial del agua constante y uniforme por largos períodos, en cuanto este desarrolló un modelo matemático que representa el funcionamiento del método. Además de un programa de computadora. El cual se describe a continuación.

##### (i) El modelo matemático.

En la primera parte se describe resumidamente la ecuación del gasto de la cápsula obtenida a partir de la ecuación de Laplace para el flujo radial en un suelo saturado y se discute la discretización del espacio con el fin de encontrar soluciones numéricas a la ecuación del transporte de agua en el suelo.

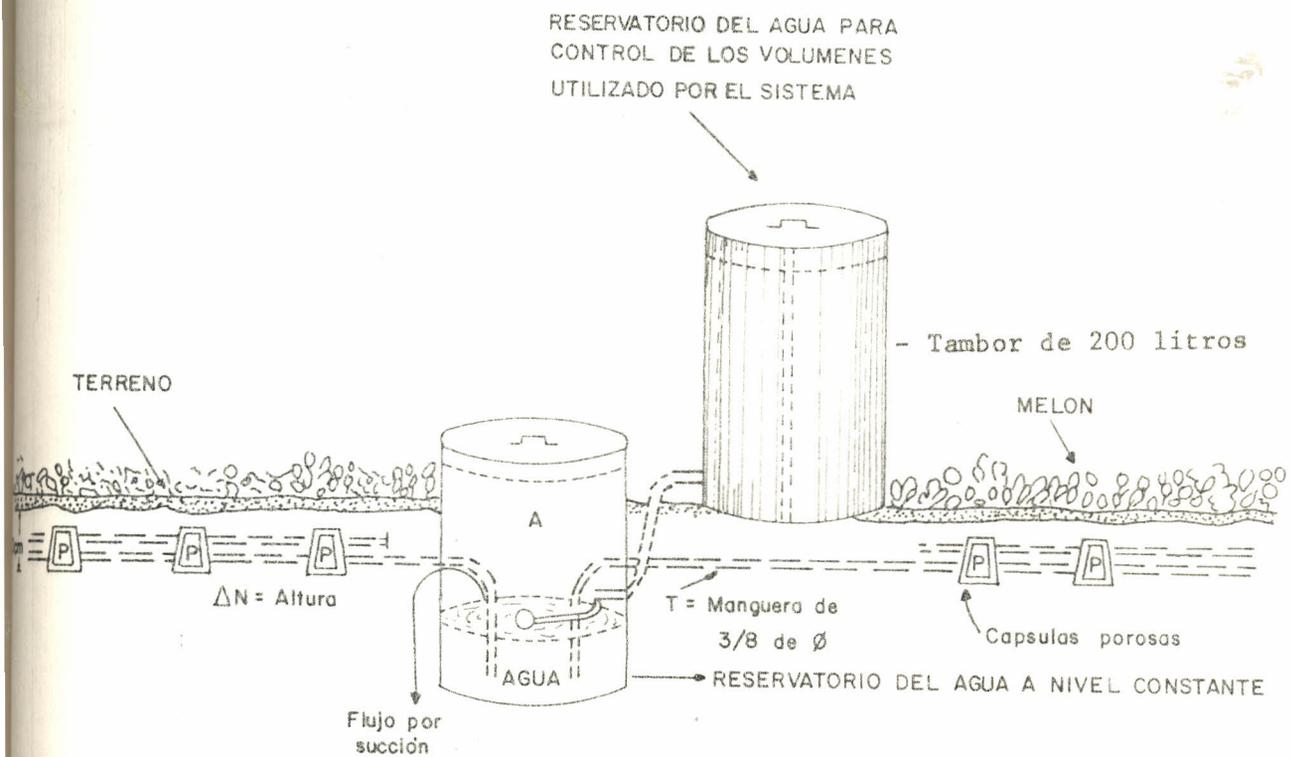


Fig. 14 Corte esquemático del sistema de riego por succión (Silva, Santos y Magalhaes, 1978.).

(a). Ecuación para el gasto de cápsula porosa.

Con la finalidad de utilizar la ecuación de Laplace, se considera que esta es cilíndrica de radio  $r_c$ , espesor  $p$ , longitud  $HE$ , conductividad hidráulica  $K_c$ , con sus extremos impermeables y el movimiento del agua solo en la dirección radial.

La ecuación de Laplace para flujo radial es:

$$\frac{d}{dr} \left[ r \frac{dh}{dr} \right] = 0$$

Por este motivo, esta ecuación puede representar el flujo de agua a través de la pared de la cápsula, ya que aparentemente la cápsula trabaja a saturación y que su conductividad hidráulica permanece constante.

Dado que se está considerando que el agua solo se mueve horizontalmente y se opera bajo potenciales de presión negativos, se puede sustituir  $h$  por  $\psi$  y entonces se tiene:

$$\frac{d}{dr} \left( r \frac{d\psi}{dr} \right) = 0 \dots \dots \dots (3)$$

donde:

$\psi$  = Es el potencial matricial

Al resolver la ecuación 3 se obtiene:

$$\psi = C \ln r + C_1 \dots \dots \dots (4)$$

Para definir esta ecuación es necesario considerar las condiciones de frontera del problema, las cuales son:

- 1) si  $r = r_c - \rho$ , entonces  $\psi = \psi_c$
- 2) si  $r = r_c$ , entonces  $\psi = \psi_o$

donde  $\psi$  es el potencial del agua dentro de la cápsula (altura de succión) y  $\psi_o$  es el potencial del agua a la salida de la pared de la cápsula.

Al resolver simultáneamente la ecuación 4 para  $\psi_c$  y  $\psi_o$  es posible encontrar los valores de las constantes de integración C y C1;

al sustituir estos valores en la ecuación 4, se obtiene la expresión para  $\psi$ .

$$\psi = \frac{\psi_o - \psi_c}{\ln \frac{r_c}{r_c - \rho}} \ln r + \psi_c - \frac{\psi_o - \psi_c}{\ln \frac{r_c}{r_c - \rho}} \ln (r_c - \rho) \quad (5)$$

Más adelante se verá que para obtener la ecuación para el gasto de la cápsula es necesario conocer  $\frac{d\psi}{dr}$ , esta expresión se obtiene al derivar con respecto a r la ecuación 5.

$$\frac{d}{dr} = \frac{\psi_o - \psi_c}{\ln \frac{r_c}{r_c - \rho}} \frac{1}{r} \dots \dots \dots (6)$$

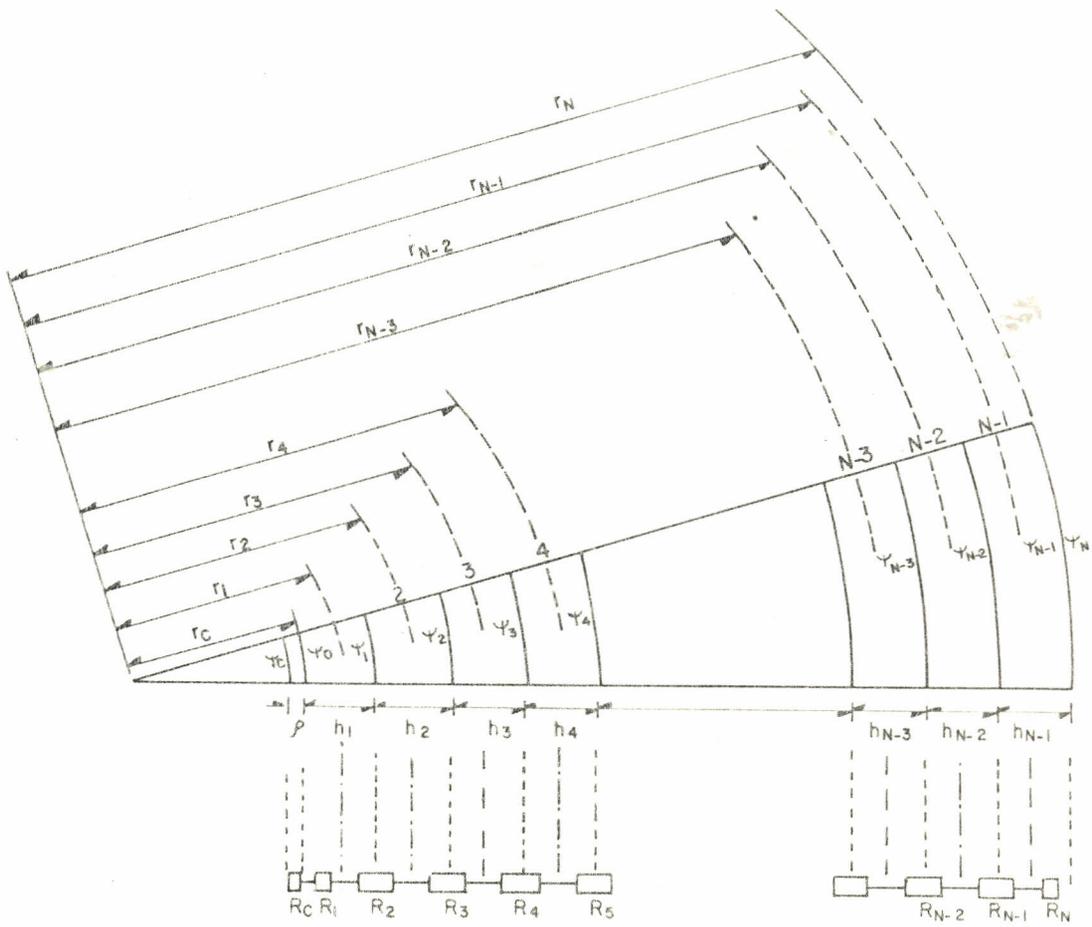


Fig. 15 Sector circular de cápsula porosa y de suelo de  $\phi$  radianes de amplitud y HE cm de altura (Rendon, 1979).

De acuerdo a la ecuación de continuidad el gasto total  $Q$  de la cápsula, es igual al área de la cápsula  $A$  por la velocidad me dia del agua  $v$ :

$$Q = Av \dots \dots \dots (7)$$

Si en esta ecuación se sustituye el área de la cápsula por su valor y la velocidad por la expresión dada por la ley de Darcy, se obtiene

$$Q = - 2\pi r H E k_c \frac{d\psi}{dr} \dots \dots \dots (8)$$

Si en esta ecuación se introduce el valor de  $\frac{d\psi}{dr}$  dado por la ecuación 6 se tiene:

$$Q = \frac{2\pi H E k_c}{\ln \frac{r_c}{r_c - \rho}} (\psi_c - \psi_o) \dots \dots \dots (9)$$

El gasto unitario  $Q_o$  para un sector circular de cápsula de 1 radian de amplitud y 1 cm de altura es:

$$Q_o = \frac{K_c}{\ln \frac{r_c}{r_c - \rho}} (\psi_c - \psi_o) \dots \dots \dots (10)$$

Si  $R_C = \frac{\ln \frac{r_c}{r_c - \rho}}{K_c}$  que se conoce la "resistencia hidráulica" de la cápsu-

la se introduce en la ecuación anterior, se tendrá:

$$Q_0 = \frac{\psi_c - \psi_0}{R_c} \dots \dots \dots (11)$$

(b). Discretización de la ecuación del balance de agua en el suelo.

Objetivando encontrar soluciones numéricas a las ecuaciones del transporte de agua en el suelo se discretizar el espacio.

En la Figura , se tiene representado un sector circular de cápsula y de suelo de radianes de amplitud y HE cm de altura. Para motivos de estudio el sector circular de suelo se ha dividido en N secciones; donde la sección N es una sección hipotética de ancho  $h_n = 0$ .

La observación de Figura , se ve que a partir de la sección 2 hasta la N-2, todas son iguales, desde el punto de vista de que el potencial  $\psi_i$  solamente aparece al centro de la sección, por lo que se puede establecer una ecuación general de balance de agua para la sección , la cual es:

$$\frac{\Delta W_i}{\Delta t} = q_{i-1} - q_i - E_i \dots \dots \dots (12)$$

donde  $\frac{\Delta W_i}{\Delta t}$  es el cambio total en el contenido de agua por unidad de tiempo en la sección i;  $q_{i-1}$  es el gasto procedente de la sección i-1 que entra a la sección i;  $q_i$  es el gasto que sale de la sección i hacia la sección i + 1 y  $E_i$  es el volumen de agua por unidad de tiempo que sale o entra a la sección i por otras causas.

Ahora se van a evaluar cada uno de los términos de la ecuación 14. Se sabe que la humedad es una función del potencial y a su vez el potencial es una función de la humedad es decir  $w = f(\psi)$  y  $\psi = g(w)$  y además el potencial es función del radio  $r$  y el tiempo  $t$ , esto es  $\psi = K(r, t)$ , por lo que se tiene:

$$w = f_o \psi ( r, t )$$

por lo que de la regla de la cadena se puedé escribir,

$$\frac{dw}{dt} = \frac{dw}{d\psi} \frac{d\psi}{dt} \dots \dots \dots (13)$$

donde  $\frac{dw}{d\psi}$  es el contenido de humedad específica, representado frecuentemente por la letra  $C$ , o sea es el cambio en el contenido de humedad por medio poroso, debido a un cambio unitario en el potencial matricial.

Si la ecuación 13 se pone en forma de diferencias finitas para la sección,  $i$ , se tiene:

$$\frac{\Delta w_i}{\Delta t} = C_i \frac{\Delta \psi_i}{\Delta t}$$

donde  $\frac{\Delta w_i}{\Delta t}$  es el cambio unitario en el contenido de agua por unidad de tiempo; de aquí que el cambio total en el volumen de agua respecto al tiempo en la sección  $i$ , es:

$$\frac{\Delta W_i}{\Delta t} = C_i \frac{\Delta \psi_i}{\Delta t} S_i \quad HE \dots \dots \dots (14)$$

donde  $S_i = \phi r_i h_i$  es el área de la sección  $i$ , por lo que

$$\frac{\Delta W_i}{\Delta t} = C_i \frac{\Delta \psi_i}{\Delta t} r_i h_i \phi HE \dots \dots \dots (15)$$

El gasto  $q_{i-1}$  que entra a la sección  $i$ , se puede establecer por analogía del gasto que sale de la cápsula (Ecuación 11); por lo que

$$q_{i-1} = \frac{\psi_{i-1} - \psi_i}{R_i} \phi HE \dots \dots \dots (16)$$

donde:

$$R_i = \frac{\ln \frac{r_i}{r_{i-1}}}{k_{w_i} \frac{1}{2}} \quad \text{y} \quad k_{w_i} \frac{1}{2} = f \left( \frac{\psi_{i-1} + \psi_i}{2} \right)$$

El gasto  $q_i$  que sale de la sección  $i$  es:

$$q_i = \frac{\psi_i - \psi_{i+1}}{R_{i+1}} \phi HE \dots \dots \dots (17)$$

donde:

$$R_{i+1} = \frac{\ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}{k_{w_{i+1}} \frac{1}{2}} \quad \text{y} \quad k_{w_{i+1}} \frac{1}{2} = \left( \frac{\psi_i + \psi_{i+1}}{2} \right)$$

$$\text{Por último } E_i = \phi r_i h_i e \dots \dots \dots (18)$$

Al sustituir los valores de las ecuaciones 15, 16, 17  
 18 en la ecuación 12 se obtiene una nueva ecuación. Si esta ecuación  
 se divide entre  $\phi_{HE} r_i h_i$ ; se hace  $\bar{e} = \frac{e}{HE}$ ;  $R_i^* = R_i r_i h_i$  y  $R_{i+1}^* =$

$R_{i+1} r_i h_i$ , entonces se tiene que

$$\frac{\psi_{i-1} - \psi_i}{R_i^*} - \frac{\psi_i - \psi_{i+1}}{R_{i+1}^*} - \bar{e} = C_i \frac{\Delta \psi_i}{\Delta t} \dots \dots \dots (19)$$

Si la ecuación 19 se pone en la forma implícita, además  
 se hace

$$\gamma_i = \frac{1}{R_i^*}, \alpha_i = \frac{1}{R_{i+1}^*}, \beta_i = \gamma_i + \alpha_i + \frac{C_i}{\Delta t_j} \text{ y}$$

$$\delta_i = \bar{e} - C_i \frac{\psi_j^j}{\Delta t_j} \quad ; \text{ entonces se obtiene}$$

$$\gamma_i \psi_i^{j+1} - 1 - \beta_i \psi_i^{j+1} + \alpha_i \psi_i^{j+1} = \delta_i \dots \dots \dots (20)$$

Si siguiendo un procedimiento análogo se obtienen las ecuaciones para la sección 1 y para la N-1 por lo que se puede establecer el siguiente juego de ecuaciones simultáneas:

$$\begin{aligned}
\gamma_1 \psi_c^{j+1} - \beta_1 \psi_1^{j+1} + \alpha_1 \psi_2^{j+1} &= \delta_1 \\
\gamma_2 \psi_1^{j+1} - \beta_2 \psi_2^{j+1} + \alpha_2 \psi_3^{j+1} &= \delta_2 \\
\cdot &\cdot \\
\cdot &\cdot \\
\gamma_i \psi_i^{j+1} - \beta_i \psi_i^{j+1} + \alpha_i \psi_i^{j+1} &= \delta_i \dots \dots \dots (21) \\
\cdot &\cdot \\
\cdot &\cdot \\
\cdot &\cdot \\
\gamma_{N-1} \psi_{N-2}^{j+1} - \beta_{N-1} \psi_{N-1}^{j+1} - \alpha_{N-1} \psi_N^{j+1} &= \delta_{N-1}
\end{aligned}$$

(c). Solución del sistema de ecuaciones simultáneas

Para resolver este sistema de ecuaciones simultáneas es necesario considerar las condiciones de frontera del problema, las cuales pueden ser de alguno de los siguientes tipos:

a).  $\psi_c = \text{constante}$

b).  $\frac{\psi_{N-1} - \psi_N}{R_N} = 0$ , por lo tanto,  $\psi_{N-1} = \psi_N$

La primera condición significa que  $\psi_c$  es arbitrario y fijo

para cada paso de tiempo. La segunda condición quiere decir que el gasto  $q_{N-1}$  que sale de la sección N-1 hacia la sección N es nulo, por lo que el gradiente también es nulo.

De acuerdo a la primera condición de frontera, la ecuación 1 del sistema de ecuaciones se puede escribir como

$$-\beta_1 \psi_1^{j+1} + \alpha_1 \psi_2^{j+1} = \delta_1^*$$

donde  $\delta_1^* = \delta_1 - \gamma_1 - \gamma_1 \psi_c^{j+1}$

De la segunda condición de frontera es posible establecer la n-ésima ecuación del sistema de ecuaciones la cual es

$$\psi_{N-1}^{j+1} - \psi_N^{j+1} = 0$$

En el nuevo sistema de ecuaciones simultáneas cada ecuación tiene tres incógnitas, excepto la primera y la última. Vasiliev, Temenoeva y Shugrin en el Boletín No. 37 del Servicio Geológico de Obras Públicas, citado por (Rendon, 1979) proponen el método "Progonka" para resolver este sistema de ecuaciones.

De acuerdo a este método, cada ecuación del sistema (excepto la primera y la última) se pueden escribir como

$$\psi_i^{j+1} = q_i + P_i \psi_{i+1}^{j+1} \dots \dots \dots (22)$$

en donde  $q_i$  y  $p_i$  se obtienen de las siguientes fórmulas recurrentes:

$$q_i = \frac{\gamma_i q_{i-1} - \delta_i}{\beta_i - \gamma_i P_{i-1}} \dots \dots \dots (23)$$

$$P_i = \frac{i}{\beta_i - \gamma_i P_{i-1}} \dots \dots \dots (24)$$

Los valores de  $q_1$ ,  $P_1$  y  $\psi$  se obtienen de la primera y la última ecuación del sistema;

$$q_i = \frac{\delta_i^*}{\beta_1} \dots \dots \dots (25)$$

$$P_1 = \frac{\alpha_1}{\beta_1} \dots \dots \dots (26)$$

$$\psi_N^{j+1} = \frac{q_{N-1}}{1 - P_{N-1}} \dots \dots \dots (27)$$

Según (Rendon, 1979), el proceso consta entonces de las siguientes fases:

(1). Cálculos de los coeficientes iniciales  $q_1$  y  $P_1$  con las ecuaciones 25 y 26.

(2). Partiendo de estos valores iniciales se calculan los coeficientes  $q_i$  y  $P_i$ , aplicando las ecuaciones 23 y 24 sucesivamente en el sentido creciente de las  $i$ .

(3). Cálculo de  $n$  con la ecuación 27.

(4). Cálculo del conjunto de  $i$  partiendo de  $n$  conocido y aplicando la ecuación 22 sucesivamente en el sentido decreciente de las  $i$ .

En el Apéndice se presenta el Programa de Computadora desarrollada por el DR. GOLOVANOV, durante su estancia en la Rama de Riego y Drenaje del C.P., Chapingo, México. También participaron en la elaboración del Programa CAPSUL, el Dr. Oscar Palacios Vélez y el Ing. M.C. Rendón Pimentel. En la actualidad la Rama de Riego y Drenaje, viene afinando este Programa para mejor simulación del modelo matemático al método de riego por succión\*.

#### 4.3.1. Utilización del agua salada.

Una técnica de investigación para evaluar el método de riego por succión haciendo uso de agua salada, fue propuesta por (Morales, 1978), y consiste en el uso de cultivos susceptibles a las sales

---

\* Comunicación personal del Dr. Oscar Palacios y del Ing. M.C. Rendón Pimentel. Rama de Riego y Drenaje. C.P. Chapingo, Méx. México.

bajo la aplicación del agua, a través de este método con diferentes niveles de potencial osmótico.

Los tratamientos son constituidos de cuatro niveles de potencial osmótico producidos con NaCl, aplicados por dos métodos uno usando el método de riego por succión y el otro riego superficial por inundación. Los tratamientos se observan en el Cuadro .

Cuadro . Conductividad eléctrica y potencial osmótico de las aguas de riego serán utilizadas.

Tratamientos	Potencial osmótico (atm)	Conductividad eléctrica (Mmhos/cm)
A (solución Hoagland)	- 0.75	Testigo 1.61
B	- 3	12.50
C	- 6	21.00
D	- 9	27.70

(a). El diseño experimental.

El diseño experimental para la conclusión del experimento es completamente al azar con un diseño de tratamientos en arreglo factorial de cuatro por tres. Donde se utilizan cuatro cualidades de riego y tres cultivos.

(b). La instalación del experimento.

Para cada tratamiento se destina un tanque abastecedor y nueve macetas distribuidas al zar, unidas o conectadas de 3 en 3

cápsulas porosas. Los tres cultivos bajo estudio tienen 3 repeticiones. Cada maceta constituye una unidad experimental (Ver Figura ). Hecha la instalación se procede a la comprobación del funcionamiento del Sistema de riego por succión, llenando de agua con las concentraciones correspondientes. (Ver Figura 4). Para la instalación del experimento se hace necesario 36 macetas con una cápsula cada una.

(c). Comparación entre la distribución de las sales usando riego por succión y aguas de diferentes calidades.

A la Figura , se demuestra las curvas de distribución de sales en el suelo cuando se usan aguas saladas aplicando riego por succión y riego superficial por inundación.

Observando las curvas se puede decir que en la parte superficial de las macetas hasta los 6 cm de profundidad, la concentración de sales es mayor con respecto a las demás capas analizadas. Cuando se observa el método de succión, la concentración de las sales, es igual o un poco mayor a la concentración del agua de riego a la altura del cuerpo de la unidad porosa, especialmente cerca de su base (Morales, 1978). Esto muestra que las raíces desarrolladas cerca de la cápsula están sometidas a una concentración muy similar a la del agua de riego, siendo menor que la concentración en el caso del riego superficial.

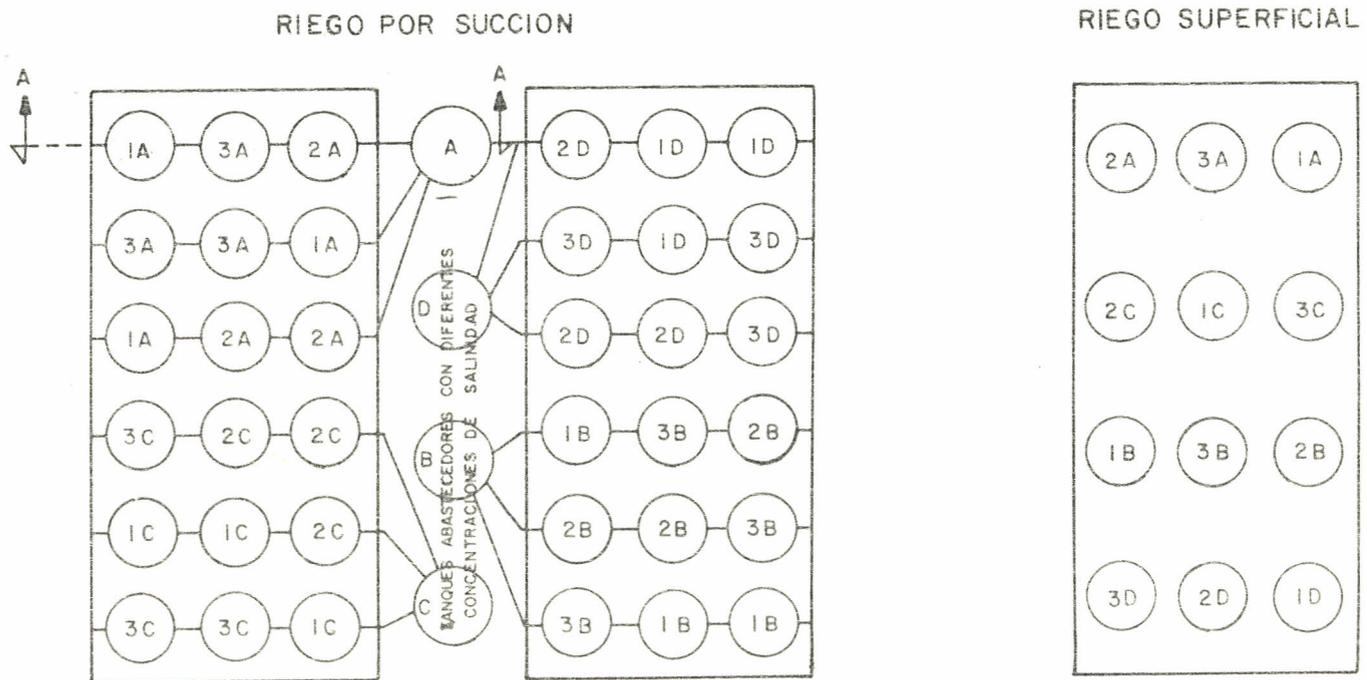


Fig. 16 Diagrama de distribución de cultivos y tratamientos en invernadero (Morales, 1978).

El análisis del anteriormente mencionado, quizá sea una de las razones fundamentales para el aumento en la tolerancia a las sales por los cultivos cuando sometidos a riego por succión.

Mientras que de una manera general el método de riego por succión ofrece gran perspectiva para el riego de cultivos susceptibles a salinidad usando agua salada, ya que (Morales, 1978) comprobó que estos aumentaron su tolerancia a las sales en trigo (Triticum aestivum), tomate (Lycopersicon esculentum) y frijol (Phaseolus vulgaris) los cuales son considerados como tolerantes, semitolerantes y sensibles a salinidad respectivamente. La tolerancia de estos cultivos fue comprobada al obtener mayores rendimientos de materia seca, mayor área foliar, menor consumo de agua y mayor altura de planta que las obtenidas por el método de riego superficial.

Además, al ser analizar la distribución de sales encontró que a través del método de succión la concentración salina a que estuvo sometida las plantas fueron muy similar a la del agua de riego, lo mismo no ocurrió con el riego superficial por inundación; lo que demuestra que con el riego por succión la concentración de sales en la solución del suelo es menor que la generada por agua de la misma calidad química aplicada con otros métodos de riego convencionales (Morales, 1978).

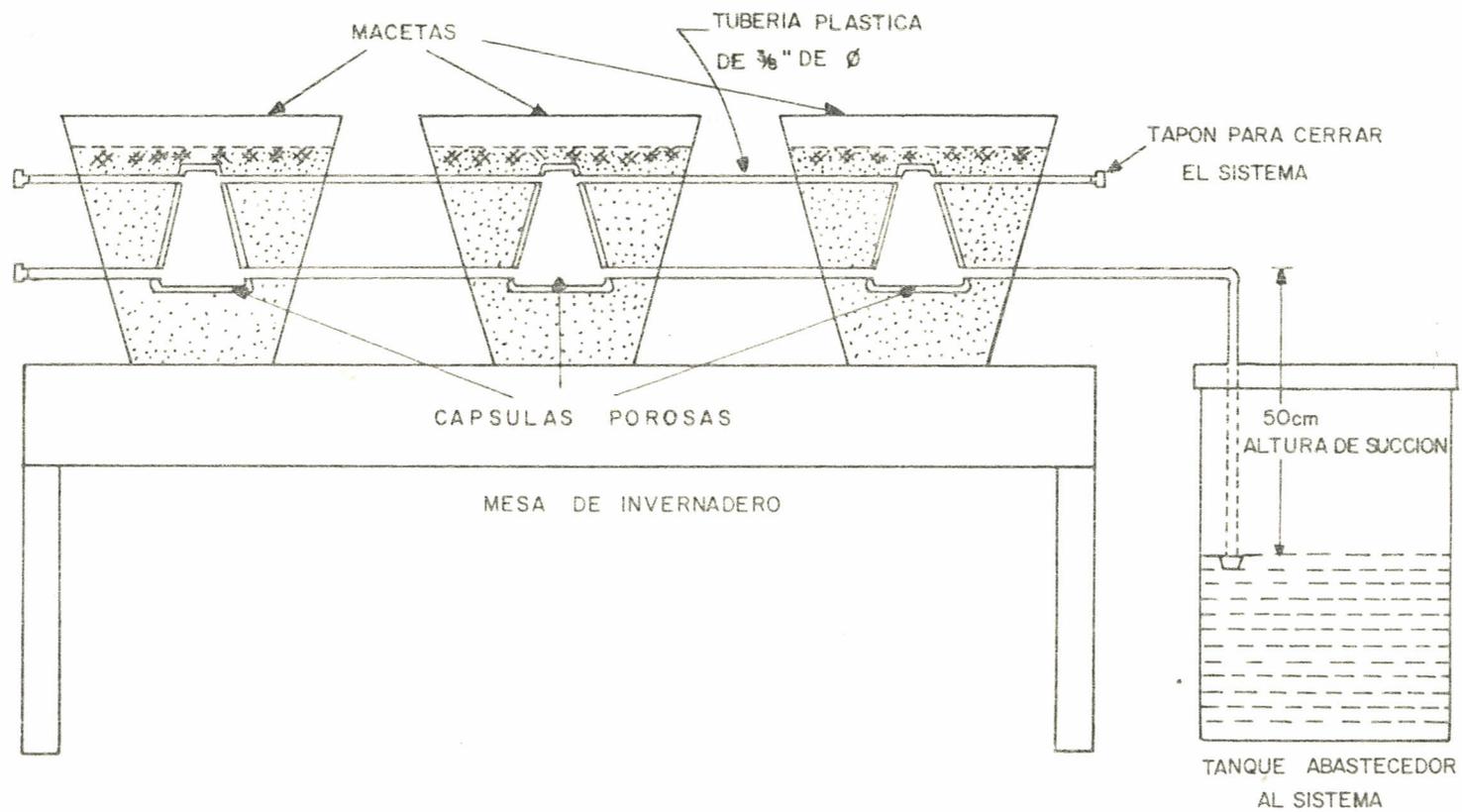


Fig. 17 Corte longitudinal de la instalación de las capsulas porosas (Morales, 1978).

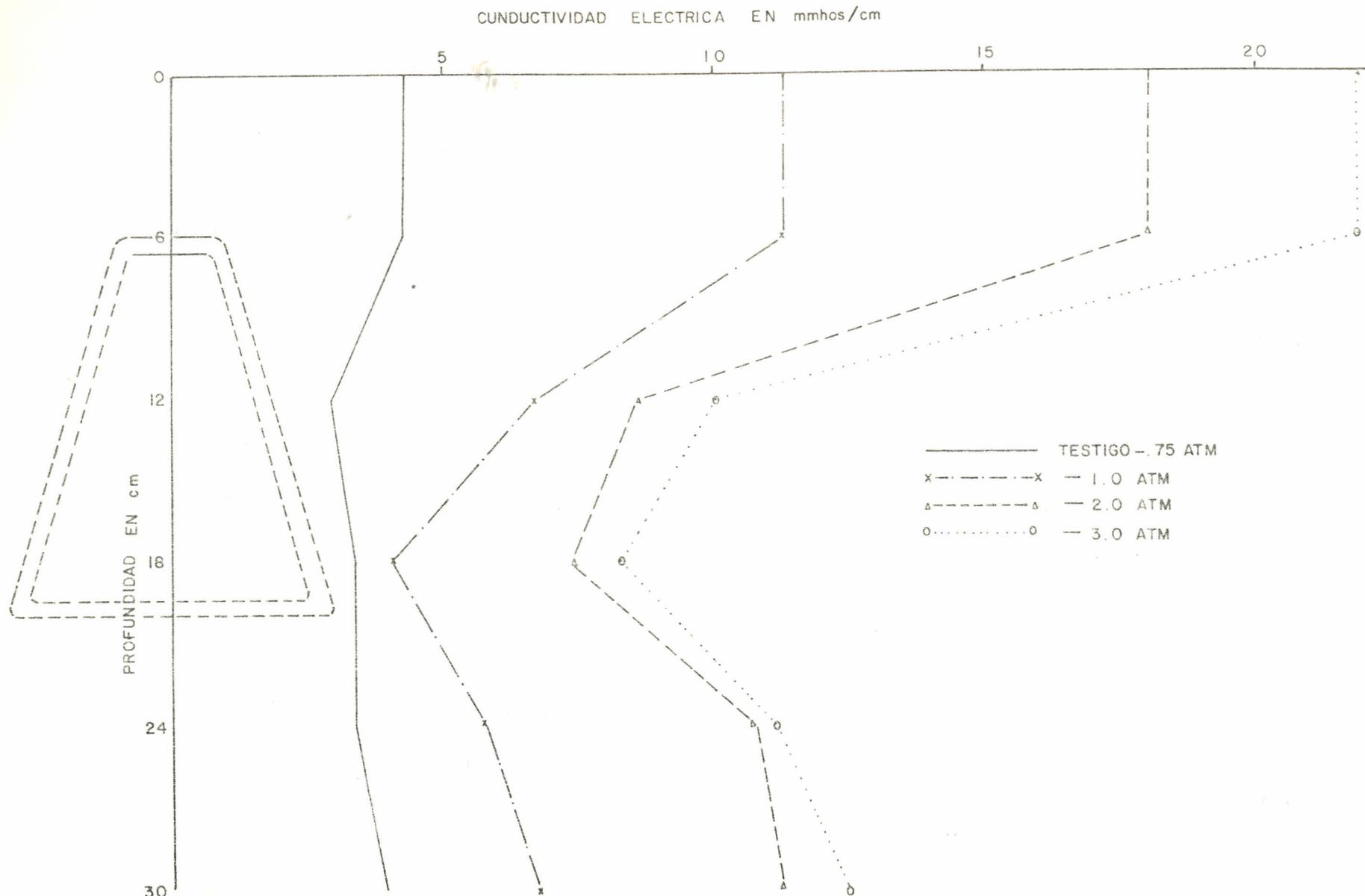


Fig. 18 Distribución de sales en el suelo en función de la profundidad usando riego por succión y aguas de diferentes calidad (Morales, 1978).

#### 4.3.2. Riego por jarro de barro.

Este método consiste de una serie de jarros de barro cocidos conectados entre sí o no, los cuales se introducen en el suelo, se llenan completamente de agua de forma continua a través del principio de los vasos comunicantes o de manera individual.

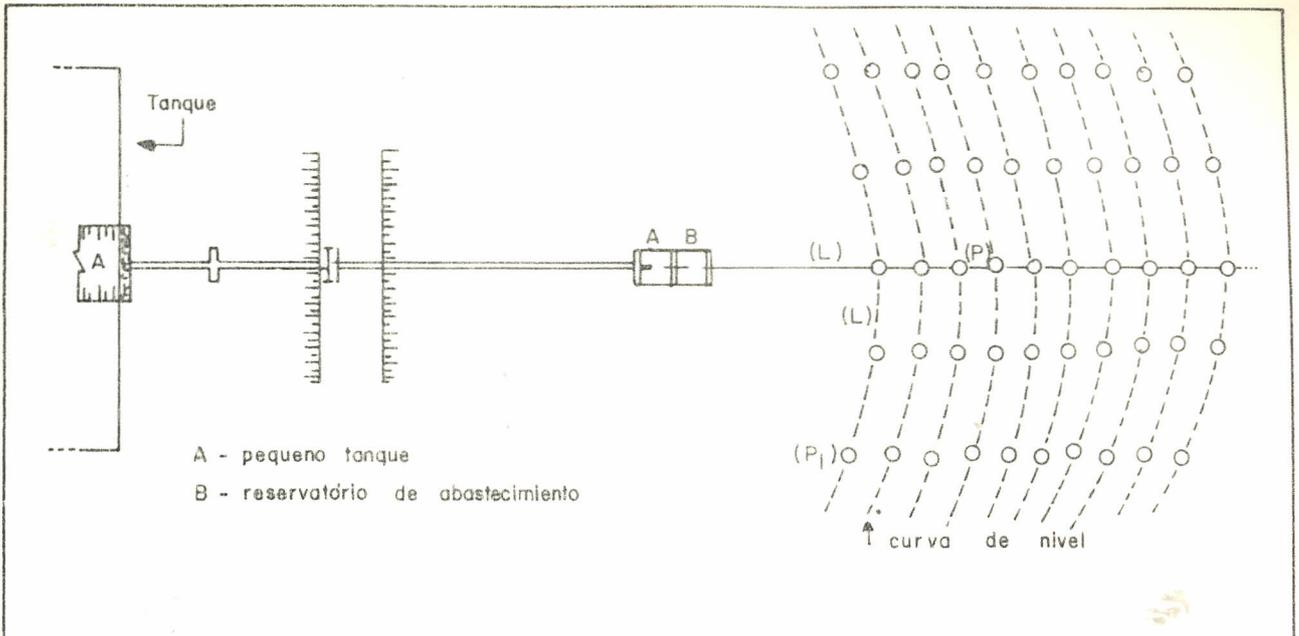
La distribución del agua de riego a través del sistema, es automático y continua, debido a la diferencia potencial que existe entre el agua dentro y fuera de los jarros de barro.

##### 4.3.2.1. Descripción del Sistema.

Los elementos básicos componentes del sistema son presentados en la Fig. ., donde:

(a). (L) es la línea de abastecimiento principal conectada al reservatorio (tanque, canal, presa, etc)., y es compuesto de jarros cocidos conectados entre sí, por una tubería de PVC de 1/2" de  $\varnothing$ . Los jarros de barro de esta línea son compuestos de un sistema de boia con la finalidad de mantener el nivel de agua constante en los mismos.

(b). (L<sub>1</sub>) Corresponde la línea de jarros de abastecimiento secundario (P<sub>1</sub>), los cuales se unen a los jarros de carga hidráulica constante (P) de la línea principal.



PLANTA GENERAL DEL SISTEMA

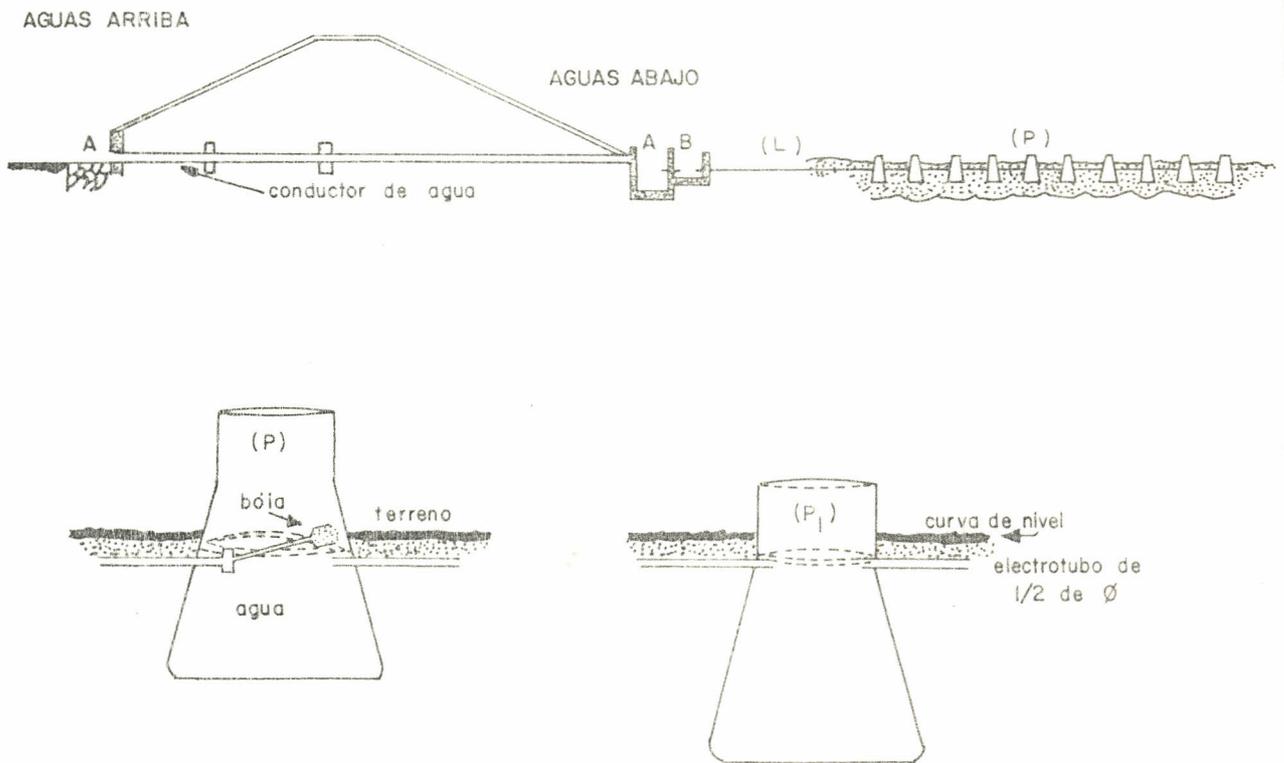


Fig. 19 Sistema de riego por jarros de barro (Silva et.al., 1979).

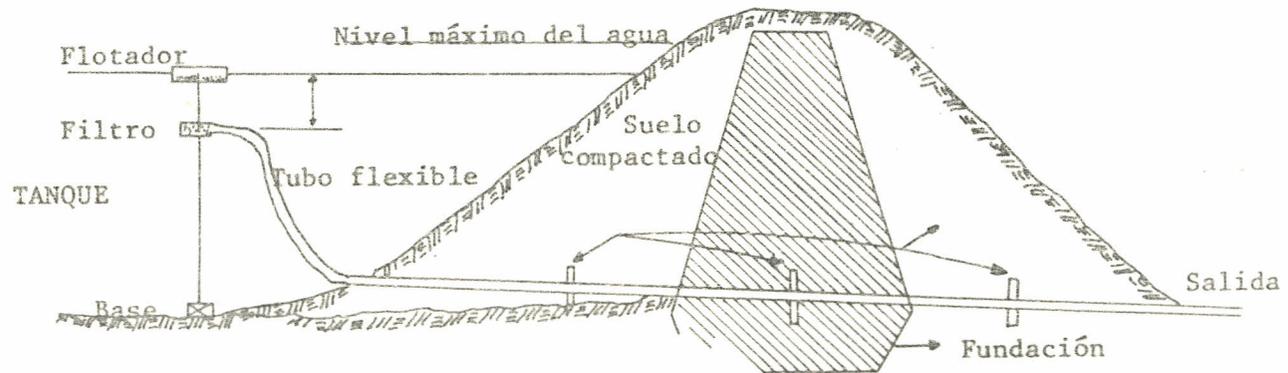
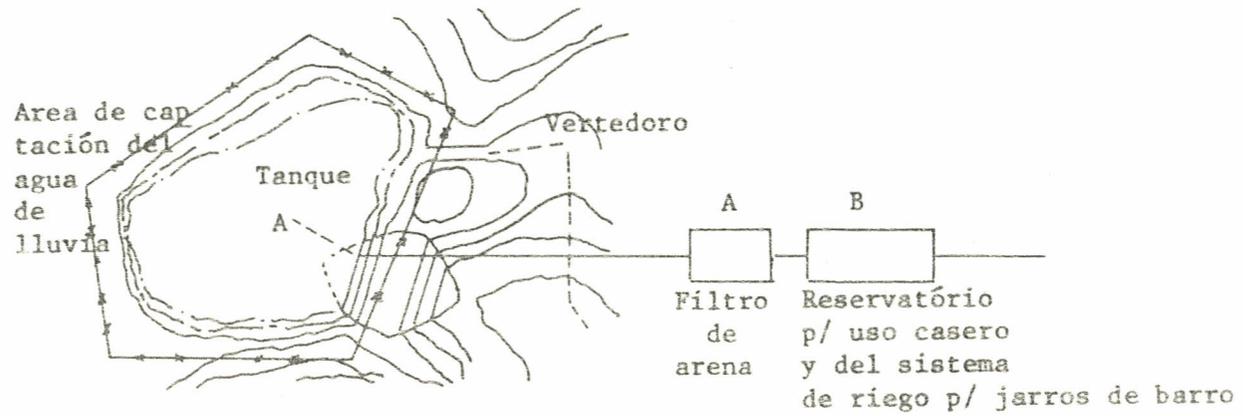


Fig. 20 Sistema de almacenamiento y de distribución del agua de riego para el método de riego por jarro de barro

(c). (P) y (P<sub>1</sub>), son los jarros de barro, de forma cónica, con capacidad de 12 a 15 litros de agua, hechos de arcilla cocida y quemados en hornos caseros utilizados por los artesanos. Los jarros secundarios (P<sub>1</sub>) son instalados en curvas a nivel (Ver Fig. y ) y usados para la explotación de diferentes culturas.

#### 4.3.2.2. Instalación del sistema.

(a). Primero se hace una preparación del suelo, en condiciones de mínimo cultivo, lo suficiente para hacer el trazado de las curvas de nivel, donde serán colocadas las líneas secundarias de abastecimiento (L<sub>1</sub>).

(b). Los agujeros son escavados en los puntos marcados en la curva de nivel (Figura ), y después se adiciona materia orgánica, como se demuestra en la Figura .

(c). Realizadas las escavaciones los jarros son instalados individualmente en los respectivos sitios, y después son conectados a través de un tubo de PCV de 1/2 pulgada de  $\phi$ . El nivelamiento final del agua dentro de los jarros es hecho con la propia agua, en forma gradual.

En la Figura , también se demuestra la forma de explotación del sistema a través del uso de cultivos anuales.

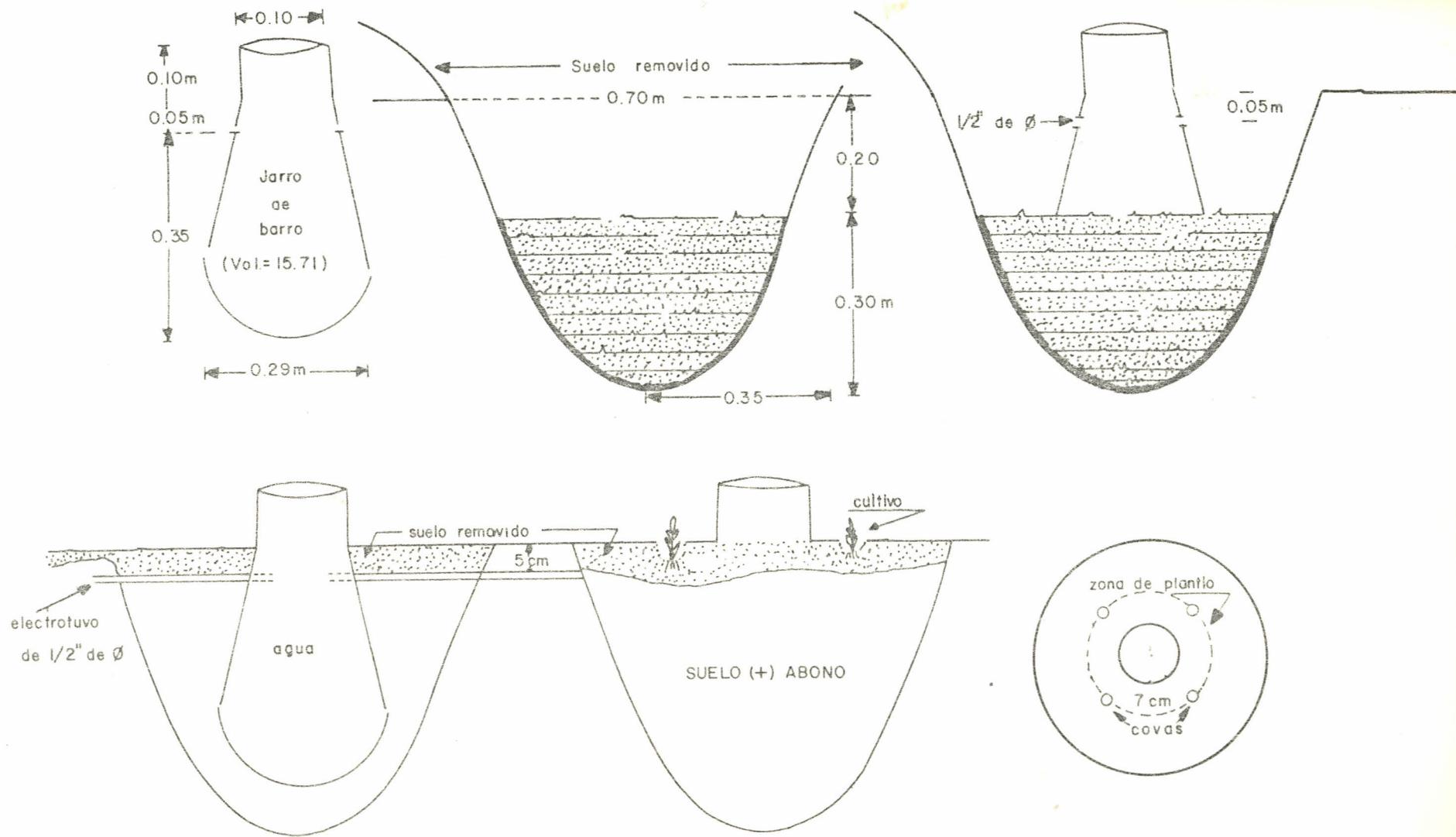


Fig. 21 Instalación de los jarros de barro (Silva et. al., 1979)

#### 4.3.2.3. Recomendación.

Los resultados ya obtenidos a través de las investigaciones permiten sugerir que se continuen con trabajos para encontrar los niveles óptimos de porosidad de los jarros de barro y pradronización de las mismas, con la finalidad de ser obtenidos mejores rendimientos de los cultivos y un método adecuado de manejo del sistema para diferentes niveles de tecnología usada por los campesinos.

## V. CONCLUSIONES

### 5.1. Desertificación.

(a). La tecnología tradicional conjugada con la moderna deberá ser considerada para combatir la desertificación en las regiones áridas y semiáridas del Noreste.

(b). En los trabajos de combate a la desertificación, principalmente, referente al manejo del suelo y del agua se debe considerar la cuenca hidrológica como una unidad ecológica y de producción, en donde el desarrollo de los ecosistemas sea en forma integral, posibilitando la acción organizada de las diversas instituciones la de los técnicos y de los agricultores.

(c). Es necesario complementar los programas de combate a la desertificación que esta ocurriendo en las zonas áridas y semiáridas del Noreste de Brasil, principalmente en las regiones de agricultura a nivel de subsistencia, con graves deficiencias en cuanto a suelo y agua, a través de técnicas de manejo adecuadas. Como son las técnicas de captación del agua de lluvia "in situ", prácticas de conservación del suelo para zonas áridas y semiáridas y manejo de la cuenca.

## 5.2. Captación del agua de lluvia.

(a). Las microcuencas de captación "in situ" del agua de lluvia en agricultura de secano, permiten coleccionar y almacenar una cantidad adicional de agua en el área de raíces, que las plantas pueden aprovechar sin sufrir déficits en etapas críticas del ciclo, o cuando la cantidad total de agua durante el ciclo es escasa, asegurando rendimientos, que de otra forma no se lograrían.

(b). Las técnicas de captación del agua de lluvia con surcos modificados a través de sus variables, distancia entre hileras y distancia entre plantas, incrementan las producciones en comparación con la tecnología convencional, ya que controlan la erosión y optimizan la disponibilidad de agua para las plantas. Además de posibilitar riegos suplementarios cuando se está utilizando el sistema agrícola a través del agua de escurrimiento superficial (SAES). También esta técnica permitirá ahorro considerable del agua almacenada en tanques, posibilitando que la utilización del sistema (SAES) sea más seguro para el desarrollo de la agricultura tradicional del Noreste.

## 5.3. Riego por succión y jarros de barro.

(a). El modelo CAPSUL, desarrollado por la Rama de Riego y Drenaje del C.P., predice los potenciales del agua en diferentes

puntos del suelo, a partir de las ecuaciones del transporte del agua en un suelo no saturado, así como la cantidad de agua que debe abastecer la cápsula porosa considerando sus propiedades físicas, las del suelo, la demanda evapotranspiratoria, distribución de raíces del cultivo y la diferente carga de succión a que se encuentra sometida la cápsula porosa.

(b). Una de las restricciones del programa CAPSUL, según los investigadores de la Rama de Riego y Drenaje del Colegio de Postgraduados, es que no representa bien los potenciales del agua en el suelo cuando estos son bajos, entre tanto esta limitación no es significativa, ya que uno de los propósitos del método de riego por succión, es mantener el potencial del agua y del suelo alto y uniforme por largos períodos durante el ciclo del cultivo. Además esta restricción está siendo estudiada por la dicha Rama.

(c). Los métodos de riego por succión y jarros de barro ofrecen grandes perspectivas en el uso del agua con contenidos elevados de sales, especialmente con los cultivos considerados sensibles a salinidad como es el caso del frijol. Además del ahorro del agua de riego y de la explotación de hortalizas.

## VI. RECOMENDACIONES

### 6.1. Desertificación.

(a). Los modelos de investigación en uso deberán ser complementadas para mejor evaluación de los indicadores físicos, biológicos y sociales, de las regiones susceptibles de desertificación en el Noreste de Brasil, a través de estudios integrados por regiones.

(b). Se recomienda la elaboración de un plan de trabajo de combate a la desertificación, para una cuenca hidrológica y un eco sistema específico, ubicado en las zonas áridas o semiáridas del Nore ste, donde sea posible la evaluación en forma integral de esta unidad eco lógica de producción, a través de la acción organiza de los cuatro gran des Proyectos del (CPATSA/EMBRAPA), de diferentes instituciones y con la participación de la comunidad.

(c). Introducción de disciplinas de combate a la desertificación en las Escuelas Profesionales del Noreste, principalmente, sobre aspectos de captación del agua de lluvia "in situ", su almacenamien to y aplicación, además de las prácticas de manejo de suelo y cultivos para zonas áridas y semiáridas. Como también manejo de cuencas y métodos agrícolas para regiones de temporal.

(d). Mayor intercambio técnico-científico, entre las instituciones, que se encuentran desarrollando técnicas de combate de la desertificación.

## 6.2. Captación del agua de lluvia "in situ".

(a). Se recomienda adicionar a las investigaciones ya existentes en el sistema (SAES), estudios que evalúen técnicas y económicamente, la fórmula de "Captación del agua de lluvia in situ, desarrollada por Anaya y colaboradores, bajo diferentes condiciones edafoclimáticas y de cultivos. También que esta sea probada en los trabajos forestales que viene desarrollando el (CPATSA/EMBRAPA).

(b). Utilizando la información ya existente en el (CPATSA/EMBRAPA) y otras instituciones sobre agricultura de secano, sea desarrollado una zonificación en base a metodología para el diagnóstico y optimización de áreas de "Captación del agua de lluvia in situ", propuesta por Anaya y Garcia. La cual debe realizarse en base a un análisis probabilístico de las precipitaciones y de las necesidades de los cultivos. Las informaciones generadas proporcionaron la base necesaria para un análisis de riesgos, teniendo en cuenta la contribución a las aportaciones de agua, de las posibles áreas de captación a instalarse en las zonas áridas y semiáridas del Noreste, y por lo tanto, su contribución a un rendimiento estable de los cultivos a obtenerse.

(c). Se recomienda la elaboración de un programa de consultoría con la Rama de Suelos del Colegio de Postgraduados, Chapingo, México, sobre técnicas de investigación para las zonas áridas y semiáridas del Noreste bajo agricultura a nivel de subsistencia.

### 6.3. Riego por succión y jarros de barro.

(a) Se recomienda repetir la investigación sobre la evaluación del modelo matemático (CAPSUL) de una manera similar al desarrollado por la Rama de Riego y Drenaje del Colegio de Postgraduados, haciendo las siguientes modificaciones:

(i). Usar una cápsula con una mayor conductividad hidráulica.

(ii). Llevar en forma gráfica el registro diario de los potenciales medidos del agua en el suelo.

(iii). Determinar periódicamente el área foliar de las plantas y aquellas variables que permitan predecir la evapotranspiración del cultivo, así como conducir en forma paralela el cultivo de la misma edad para ir determinando su peso.

(b). Se recomienda hacer investigaciones para encontrar los niveles tolerables de salinidad del agua de riego para obtener mejores rendimientos de los cultivos, especialmente los considerados suscep

tibles a sales. También realizar estudios enfocados aspectos económicos de la utilización de las aguas saladas para los métodos de riego por succión y jarros de barro.

## VII BIBLIOGRAFIA

ACEVES, N.E., L. H. STOLZY y G. R. MEHUYS. 1975. Effects of soil osmotic potential produced with tow salt species on plant water potential, growth, and grain yield of wheat. *Plant and soil* 47:619 - 627.

✓ ANAYA, G.M. 1975. Captación y aprovechamiento de la lluvia para zonas temporales. V Congreso Latinoamericano de la Ciencia del suelo. Medellín, Colombia.

✓ ANAYA, G. M., TOVAR, S.J.L. & MACIAS, L. A. 1976. Métodos de captación de lluvia para zonas agrícolas con temporal deficiente. C.P. Chapingo, México.

✗ ANAYA, G.M. 1977a Optimización del aprovechamiento del agua de lluvia para la producción agrícola bajo condiciones de temporal deficiente. Ed. Agroecosistemas de México. C.P. Chapingo, México.

ANAYA, G.M. 1977b Technology and desertification. Nairobi. United Nations Conference on desertification.

✓ ANAYA, G.M. 1979. La desertificación en América Latina. Symposium presentado en la X Reunión de ALCA, Acapulco, Guerrero, 21 a 28 de abril de 1979.

✓ ARAGAO, O.P. 1977. Relatório Técnico-científico do treinamento sobre manejo do complexo solo, agua, planta Petrolina, PE., EMBRAPA/CPATSA. 55p.

BALLIVIAN, G.P. 1979. Modificación del medioambiente para la producción de maíz forrajero bajo condiciones de temporal en Chapingo, México. Tesis de Maestro en Ciencias C.P. de la U.A.CH., Chapingo, Méx. 146 p.

BOERS, M. e Millar, A.A. 1974. "Algunas culturas irrigadas por suelo en contorno no aluvial de Medio "Sao Francisco". Petrolina, PE. IICA, 89p. Publicado Miscelánea, pp 78 - 81.

CPATSA, 1978. O tropico semi-árido do Nordeste características gerais e pesquisas em desenvolvimento no CPATSA. CPATSA/EMBRAPA, Petrolina, PE. 1978. 7 p.

✗ EVENARI, M., SHANAN, L., TADMOR, N. H. 1963-1970. Runoff-farming in the Negev Desert Progress Report I-IV. Public. Nat.

LIU, W. T. 1978. Algunos aspectos para o desenvolvimento de sistemas agrícolas para o trópico semiárido do Nordeste Brasileiro. CPATSA/EMBRAPA. 21 p. (Apresentado para publicação na Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira).

MAGALHAES, A.A.; MILLAR, A.A. & CHOUDRURY, E.N. 1977. Efeito do deficit fenológico de agua sobre a produção de feijão. EMBRAPA/CPATSA, Petrolino, PE. 15 p.

MORALES, V.D.F. 1978. Uso de agua saladas para riego de cultivos por succión Tesis de Maestria. C.P. Chapingo, Méx. 126 p.

National Academy of Sciences. More water for arid lands: Promising Technologies and research opportunities. Washington, D.C., 1974.

OLGUIN, P.C. 1976. Observaciones sobre el efecto del riego por succión en el rendimiento de maíz (Variedad H-507), en el Distrito de Riego No. 41, Río Yaqui, Sonora. Chapingo, México. ENA. 18 p.

O.N.U. A/CONF. 74/36. Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Desertificación Nairobi, 29 de agosto a 9 de septiembre de 1977. 17 p.

O.N.U. Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Desertificación. Resumen, plan de acción y resoluciones Nairobi, 29 de agosto a 9 de septiembre de 1977 40 p.

O.N.U. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Informe del Director Ejecutivo. Sexto período de Sesiones Nairobi, 9 a 25 mayo de 1978. 226 p.

QUEIROZ, F. S.C., Millar, A.A. e BOERS, M. 1975. Características de infiltración dos vertisoles do sub-medio "Sao Francisco". XI Congresso Brasileiro de Ciencias do solo. 14 p.

QUEIROZ, M. A. 1978. Algunas consideraciones sobre "Farming Systems". Petrolina. EMBRAPA/CPATSA. Petrolina. PE. nimeo. 16p.

READ, A.L., M. F. Pietsch, and W. E. Matheson. Australian vineyard uses sewage effluent with trickle irrigation. Paper presented at the second International Drip Irrigation Congress. San Diego, California, 1974.

J X RENDON, L.P. Desarrollo y calibración preliminar de un modelo matemático para riego por succión. Tese de Maestría. C.P., Chapingo, México. 174 p. U+

REMSON, I., HORNBERGER, E-G & MOLZ, J. F. 1971. Numerical methods in subsurface hydrology. Johy Wiley and Sons, Inc. New York. V

X REY, C. J. A. 1979. Estimación de la erodabilidad de los tepetates en la cuenca del rio Tezcoco en base al factor K. Tesis de Maestría C.P. de la U.A.CH. Chapingo, Méx. 130 p.

O RUIZ, J. F.F. 1979. Evaluación de cinco tipos de terrazas en suelos de ladera de la Cuenca del Rfo Tezcoco. Tesis de Maestria en Ciencias C.P. de la U.A.CH. Chapingo, Méx. 206 p.

SANTOS, E. D. 1977. Determinación de la evapotranspiración en trigo mediante riego por succión. Tesis de Maestro en Ciencias C.P. de la E.N.A. Chapingo, Méx. 107 p. U+

O SIMOES, A.J. 1979. Estrategio del uso de los recursos suelo-agua para estabilizar la producción agrícola en el tropico semiárido Brasileño. Rama de Riego y Drenaje, C.P., Chapingo, México 20 p. U+

SILVA, A. de S.; Riestra, D.D. & ANAYA, G. M. 1975. Utilización del infiltrómetro de doble desagüe en surcos para la determinación de las curvas de infiltración. VII Congreso Nal. de la Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. 30 p.

SILVA, A. de S. & ANAYA M. G. 1976. Desarrollo de una metodología para instalación de tubos de acceso y calibración de un aspersor de neutrones y rayos gamma. VIII Congreso Nal. de la Soc. Mexicana de la Ciencia del Suelo. 26 p. U

J X SILVA, A. de S.; SANTOS, E.D. & MAGAHAES, A.A. 1978a Introducao e avaliacao do metodo trópico Semi-Arido. Petrolina - PE, CPATSA, 15 p. trabalho apresentado no IV Congresso de Irrigacao e Drenagem. U+

~~SILVA, A. de S.; SANTOS, E. D. & MAGAHAES, A.A. 1978b Confeccao e teste de cápsula porosas para o metodo de irrigacao por succao. Petrolina, PE. CPATSA, 1978. 19p trabalho presentado no IV Congresso de Irrigacao e Drenagem. U~~

WANBEKE, A.V. 1974. Propiedades que influyen el manejo de los óxisoles en ecosistemas de sabana. Manejo de Suelos en la América Latina. Univ. Cons. Soils of the Trop. Soil Science Department. Raleigh, N.C. 27607. USA 21:371 - 379.

○ WENIGER, F. C. -1977. Problemas agrícolas más regioes secas do Nordeste Brasileiro. CPATSA/EMBRAPA, Petrolina, PE. 65 p. ✓