



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DISCIPLINARIA
EN RELACIÓN AGUA-SUELO-PLANTA-ATMÓSFERA

CENID-RASPA

LABRANZA MÍNIMA:

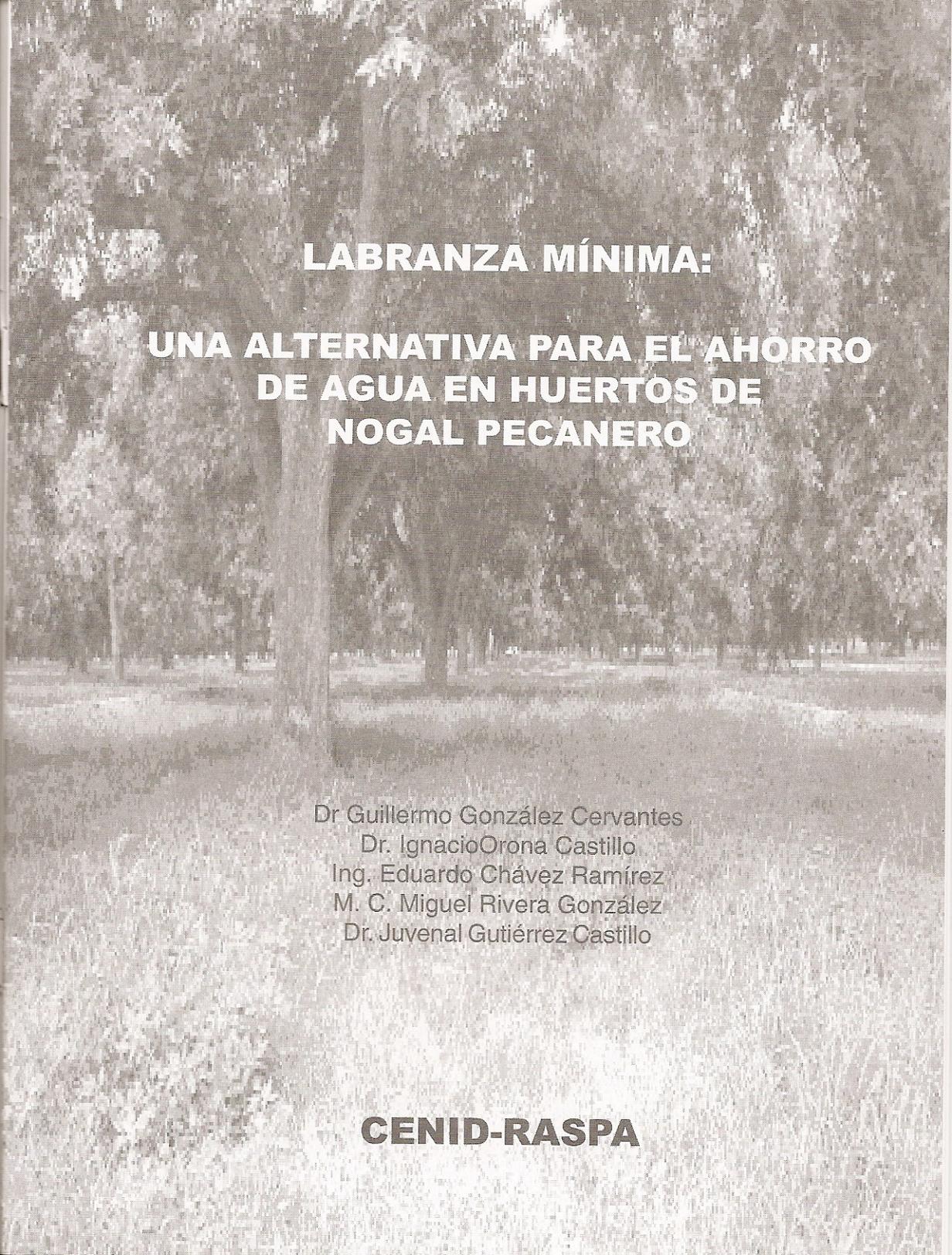
**UNA ALTERNATIVA PARA EL AHORRO
DE AGUA EN HUERTOS DE
NOGAL PECANERO**



Dr. Guillermo González Cervantes
Dr. Ignacio Orona Castillo
Ing. Eduardo Chávez Ramírez
M. C. Miguel Rivera González
Dr. Juvenal Gutiérrez Castillo

ISBN: 968-800-639-4

Folleto Científico 18



**LABRANZA MÍNIMA:
UNA ALTERNATIVA PARA EL AHORRO
DE AGUA EN HUERTOS DE
NOGAL PECANERO**

Dr. Guillermo González Cervantes
Dr. Ignacio Orona Castillo
Ing. Eduardo Chávez Ramírez
M. C. Miguel Rivera González
Dr. Juvenal Gutiérrez Castillo

CENID-RASPA

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera.

Km 6.5 margen derecha Canal Sacramento

Gómez Palacio, Durango. MÉXICO.

Apdo. Postal 41

35150 Cd. Lerdo, Dgo.

Teléfonos y Fax: 01 (871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34

e-mail: cenid.raspa@inifap.gob.mx

El contenido de esta publicación podrá reproducirse total o parcialmente con fines específicos de divulgación, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente a los autores, al CENID-RASPA y al INIFAP.

ISBN: 968-800-639-4

Presentación

Desde su fundación, el INIFAP ha tenido como objetivo fundamental el desarrollo de tecnologías tendientes a incrementar la productividad de los diferentes cultivos y sistemas de producción, y a la conservación de los recursos naturales del país. Sin embargo, es un hecho que una cantidad considerable de las tecnologías producidas no solo por el INIFAP sino también por otras instituciones de investigación agropecuarias mexicanas no se conocen o no han sido adoptadas por los productores. Esto ha motivado al INIFAP a modificar sus estructuras directivas, administrativas y de operación con la finalidad de detectar con mayor precisión las demandas tecnológicas de los usuarios como premisa para lograr una mayor adopción de las mismas.

La definición de las actividades de investigación, validación y transferencia de tecnología a desarrollar para determinado sistema-producto; es decir, la demanda de tecnología, resulta relativamente fácil cuando se tienen problemas evidentes relacionados con el bajo potencial de los genotipos, pérdidas de producción debido al ataque de plagas, enfermedades, maleza, o cuando existen deficiencias manifiestas de agua o nutrimentos. Sin embargo, existen problemas que por su naturaleza deben estudiarse debido a que el daño que causan es en ocasiones sólo detectable en períodos de tiempo relativamente grandes (> de 20 años). Tal es el caso de la labranza, la cual aporta grandes beneficios a los suelos y a los cultivos cuando se realiza en forma adecuada, pero que empleada en forma indebida ocasiona problemas que reducen la productividad actual de los sistemas de producción y el deterioro de los recursos agua y suelo, factores fundamentales en que se apoya todo tipo de producción primaria del sector agropecuario y forestal.

En México no existe suficiente información sobre aspectos básicos relacionados con algunos de los efectos negativos de una labranza inadecuada, particularmente en las propiedades hidrodinámicas del suelo, en el ahorro potencial del agua y en la productividad del sistema-producto nogal cultivado en las zonas áridas y semiáridas del país.

La información contenida en esta publicación se obtuvo por investigadores del CENID RASPA en colaboración con otras instituciones de investigación regionales. Los trabajos de campo se realizaron en huertas de productores de nuez pecanera ubicados en la parte norte centro de México, y el procesamiento de las muestras colectadas se llevó a cabo en el laboratorio de tratamiento de imágenes del propio CENID RASPA. Con esta investigación se espera contribuir a elevar la productividad de este cultivo y la eficiencia en el uso del agua, mediante un cambio en las operaciones de la labranza en huertos de nogal, pero también a difundir el uso de la tecnología de tratamiento de imágenes en muestras de suelo para la cuantificación del efecto de las operaciones de labranza en las propiedades físicas relacionadas con el movimiento de agua y nutrimentos a través del perfil del suelo.

Dr. José A. Cueto Wong
Director del CENID RASPA

Contenido

Marco económico	1
Impacto de la mecanización en el movimiento del agua . .	5
La región de estudio (Comarca Lagunera)	8
El clima	9
Manejo del suelo y agua en huertos de nogal de la región	10
Distribución de la porosidad en huertos nogaleros	14
Análisis de la morfología de los poros en función del sistema de manejo	17
Conductividad hidráulica a saturación (k_{sat})	19
Conclusiones	25
Literatura citada	26

MARCO ECONÓMICO

La producción mundial de nuez pecanera (*Carya illinoensis* Koch) se estima en alrededor de 210 mil toneladas anuales. Los principales productores son Estados Unidos (72 %) y México (25 %). Otros productores a baja escala son Australia, Sudáfrica, Israel, Brasil, Argentina, Perú y Egipto, (Puente *et al.*, 2002).

Esta variedad de nuez tiene un alto contenido de aceite insaturado, lo que ha generado una demanda importante por la industria de alimentos saludables. Las nueces se utilizan en pastelería, bisquetería, confitería y nevería.

De acuerdo a SAGARPA (2004), la producción de nuez bajo sistemas de riego en México pasó de 19.9, 37.8 y 68.9 mil toneladas en los años 1980, 1990 y 2003, respectivamente. Los rendimientos variaron de 0.77, 1.15 y 1.47 ton ha⁻¹ y la superficie cosechada fue de 25,647, 32,749 y 46,909 ha. Es decir, la producción ha crecido ligeramente más por incremento en la producción por unidad de

superficie que por superficie cosechada, pues mientras los rendimientos crecieron 89.5 por ciento, la superficie lo hizo con 82.9. Lo que significa que ha habido una mejora en el manejo del cultivo atribuible a la introducción de variedades nuevas, mayor edad alcanzada por los huertos y mejor manejo fitosanitario del cultivo.

La superficie registrada bajo temporal para el año 2003 fue de 2,132 ha, con un rendimiento promedio de 560 kg ha⁻¹; el 80 por ciento de esta superficie se localiza en el estado de Coahuila. Para el período 1999-2003 los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y Sonora, localizados en el norte del país concentraron el 97.8 por ciento de la superficie cosechada, y el 95.7 de la producción nacional, (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de nuez en México, 2003.

	Superficie Cosechada (ha)	Producción (t)	t ha ⁻¹
Aguascalientes	165.0	174.0	1.05
Coahuila	9 361.0	11 619.5	1.24
Chihuahua	26 211.5	41 584.0	1.59
Durango	3 320.5	5 009.8	1.51
Guanajuato	60.0	30.0	0.50
Hidalgo	621.0	2 381.0	3.83
Nuevo León	4 144.0	2 311.5	0.56
San Luis Potosí	88.0	325.0	3.69
Sonora	2 845.0	5 405.5	1.90
Tamaulipas	75.0	19.5	0.26
Zacatecas	18.0	22.0	1.22
Total nacional	46 909.1	68 881.7	1.47

Fuente: SAGARPA, 2004.

La superficie que se cosechó de nogal en la Comarca Lagunera durante el año 2004 fue de 6,228 ha, correspondiendo el 46 por ciento a los municipios que conforman el estado de Durango y el 54 restante a los municipios de Coahuila. En términos del tipo de tenencia, para el año 2003 el sector ejidal participó con el 32 por ciento y la pequeña propiedad con el 68. La superficie ocupada por cultivo presentó un incremento del 64.8 por ciento en el período 1990-2004, habiendo pasado de 3,779 a 6,228 ha, (Cuadro 2).

Cuadro 2. Evolución del cultivo de nogal en la Comarca Lagunera.

Ciclo	Bombeo (ha)	Gravedad (ha)	Total (ha)	Producción (t)
1990	3,189	590	3,779	4,430
1991	2,907	904	3,811	4,365
1992	3,207	781	3,988	4,759
1993	2,785	987	3,772	3,377
1994	3,019	1,225	4,244	4,378
1995	3,058	1,327	4,385	3,145
1996	3,146	1,328	4,474	4,544
1997	3,187	1,370	4,557	4,694
1998	3,051	1,478	4,529	5,205
1999	4,011	2,364	6,375	4,065
2000	3,397	1,620	5,017	6,089
2001	3,236	1,890	5,126	5,527
2002	3,264	2,642	5,906	6,230
2003	3,039	2,495	5,534	7,600
2004	3,707	2,521	6,228	7,951

Fuente: SAGARPA (1990-2004).

Dada la importancia económica del nogal pecanero en el país y en virtud de que el 95 por ciento de la superficie del cultivo está bajo condiciones de riego, el agua juega un papel importante.

Aún cuando los sistemas de riego para la producción de nuez en México se han venido mejorando tecnológicamente, existe la cultura de utilizar maquinaria pesada en las prácticas realizadas al cultivo. Esto ha traído como consecuencia elevados costos de producción y problemas de compactación del suelo que dificultan y, en casos extremos, impiden el proceso de infiltración del agua al sistema radical del árbol, llegando a ocasionar disminución de rendimientos y un uso deficiente del agua de riego.

Ante esta problemática, la labranza mínima (Figura 1) representa una alternativa para el ahorro de agua y la disminución de los costos de producción. Esta práctica consiste en dejar de utilizar la ras-tra como maquinaria para preparar el suelo para el riego y dejar crecer la cubierta vegetal. Esto permite recuperar la estructura del suelo y elevar el contenido de la materia orgánica a valores superiores al tres por ciento, pero lo más importante es el incremento en el tamaño de los poros y una distribución más homogénea de estos en el perfil del suelo (González *et al.*, 2004).



Figura 1. Labranza mínima.

Impacto de la mecanización en el movimiento del agua.

Los diferentes sistemas de labranza surgen como apoyo para una agricultura cada vez más mecanizada e intensiva (Figura 2) para la producción de frutales y de forrajes a partir de los años 50's (Chancellor, 1991). Estas operaciones mecánicas y de tráfico continuo de vehículos en el suelo han conducido a la degradación ya que modifican la estructura de las capas superficiales creando diferentes estados de agregación en el suelo cada vez más compactos, los cuales pueden describirse y cuantificarse a partir de la determinación de la abundancia y distribución del espacio poroso.



Figura 2. Labranza intensiva.

Los espacios vacíos del suelo juegan un papel determinante en el movimiento del agua, donde la cantidad de agua que se infiltra está condicionada por las características de estos vacíos. En su movimiento descendente, el agua se redistribuye por los espacios vacíos (porosidad); de ahí que la cantidad, organización y características de los espacios condicionen el transporte y retención del agua y nutrientes, para posteriormente ser aprovechados por el sistema radical de los nogales y/o continuar su movimiento descendente por debajo de la zona radical del cultivo y alimentar a los mantos acuíferos.

Un parámetro hidrodinámico como la conductividad hidráulica a saturación que indica el flujo máximo de agua permisible por el suelo, depende en gran medida de la abundancia, forma y distribución espacial de los vacíos existentes en el suelo. La descripción de estos espacios considerando sólo su volumen total (Hallaire y Cointepas, 1993) generalmente no es suficiente para explicar el movimiento del agua en el suelo. La caracterización del espacio poroso se puede describir y cuantificar a partir de dos criterios: tamaño y forma de los poros y sus variaciones en el perfil (González *et al* 2004). Esto puede realizarse a través de técnicas avanzadas como el análisis de imagen, procedimiento que cuenta con un desarrollo importante en el estudio de la porosidad de los suelos (Bouma *et al.*, 1979; Stengel, 1979; German y Beven, 1981; Bullock y Mc Keague, 1984; Bruand, 1986; Curmi, 1988; Grimaldi y Boulet, 1990; Hallaire, 1997., Hallaire *et al.*, 1997; González, 2002).

Por la relevancia que tiene el manejo sustentable de los recursos agua y suelo y la importancia económica que representa la producción de nuez pecanera en la región y en el país, se considera relevante publicarse este trabajo con el fin de difundir la tecnología y su impacto en la formación de poros de mayor tamaño en el suelo y, por ende, en el aprovechamiento y ahorro de agua así como en la disminución de los costos de producción.

La región de estudio (Comarca Lagunera)

Esta región se localiza en el altiplano central al norte de México cuya altitud promedio es de 1,100 metros sobre el nivel del mar y está limitado al oeste por la Sierra Madre Occidental, donde la altitud varía de 2,000 a 3,200 metros, y al este por la Sierra Madre Oriental, con un altitud de 1,800 a 2,500 metros (Figura 3).

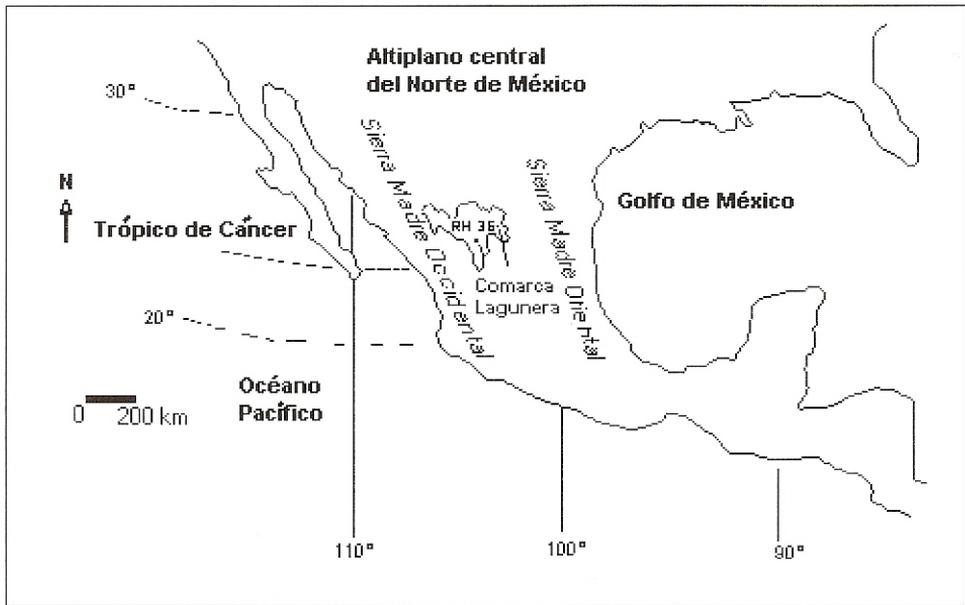


Figura 3. Ubicación geográfica de la Comarca Lagunera.

El clima

Las barreras orográficas determinan el clima árido y semiárido que predomina en la Región Hidrológica 36 (RH36) y en particular la Comarca Lagunera, que constituye la parte baja de esta región.

Decroix *et al.* (1997) diferenciaron tres subregiones pluviométricas para la cuenca del Nazas perteneciente a la RH 36:

- a. Parte alta** (donde se ubica y abastece de agua la Presa Lázaro Cárdenas), con lluvia promedio anual superior a los 500 mm, clasificada como una zona subhúmeda de producción y almacenamiento de agua de lluvia en la presa, con una superficie muy reducida del cultivo de nogal (1.3 %).
- b. Parte media** (ubicación de la Presa Francisco Zarco), con precipitación promedio anual de 300 a 500 mm, considerada como una zona semi-árida de almacenamiento, conducción y aprovechamiento de agua hacia la parte baja de la cuenca donde se ubica el 21.3 por ciento de la superficie sembrada de nogal.
- c. Parte Baja**, formada por los lechos de las otrora Lagunas de Mayrán y Viesca, así como el Bolsón de Mapimí, donde la precipitación promedio anual es inferior a los 300 mm; se clasifica como zona

árida con consumo de agua proveniente de las partes alta y media de la cuenca y de la extracción de pozos profundos, ya que la evaporación potencial medida en el tanque evaporímetro tipo A es del orden de 2,100 milímetros anuales y la evapotranspiración real es de 1,700 a 1,800 milímetros para el cultivo de alfalfa. Este desbalance hídrico entre precipitación y evaporación obliga la extracción de agua de pozo profundo con el objetivo de proporcionar al nogal y a la agricultura en general el requerimiento hídrico necesario para su producción comercial. Por ello, la importancia de generar prácticas de manejo que conlleven a un mejor uso y manejo del agua de riego. En esta parte se concentra el 77.4 por ciento de la superficie sembrada con nogal.

Manejo del suelo y agua en huertos de nogal de la región.

Los productores de nuez en su mayoría han optado por el uso intensivo de la maquinaria para preparar el suelo al riego con la finalidad de incrementar la infiltración hacia las capas subsuperficiales; este uso de maquinaria consiste en rastrear y levantar bordos con una frecuencia de al menos 20 veces por año (Cuadro 3). Lo anterior se realiza sin considerar el impacto que esto puede ocasionar en la estructura del suelo al disminuir los espacios vacíos e incrementar su compactación, lo que dificulta el manejo sustentable de los recursos naturales agua y suelo.

Una manera de estimar el impacto de la labranza en el suelo es por medio de los cambios en sus propiedades físicas en el mediano y largo plazo (Sustaita *et al.*, 1999) y en el efecto que esto puede ocasionar al movimiento y aprovechamiento del agua.

De ahí la importancia de estudiar el comportamiento del suelo y el agua bajo diferentes escenarios de manejo e identificar el más adecuado para mejor aprovechamiento de ambos recursos; por lo anterior, se realizó un recorrido por las diferentes huertas de la Comarca Lagunera correspondientes a las partes alta, media y baja de la cuenca del Nazas. En el Cuadro 3 se muestran ejemplos representativos de los sistemas de manejo más comunes en las huertas de nogal.

Cuadro 3. Prácticas más comunes en las huertas de nogal pecanero de la Comarca Lagunera.

Sistema de labranza	Implemento utilizado	Frecuencia por año	Incorporación de materia orgánica (ton ha ⁻¹)
Intensivo (50 años)	Discos	20	0
Intensivo (30 años)	Discos	18	20
Intensivo (20 años)	Discos	14	0
Labranza mínima	Ninguno	0	0

La labranza intensiva es un manejo del suelo que se refiere a la utilización de implementos agrícolas, principalmente la rastra y bordeadora durante el ciclo del cultivo, con una frecuencia de al menos

20 veces por año (Figura 4). El objetivo principal es evitar el crecimiento de la maleza y preparar el suelo al riego.

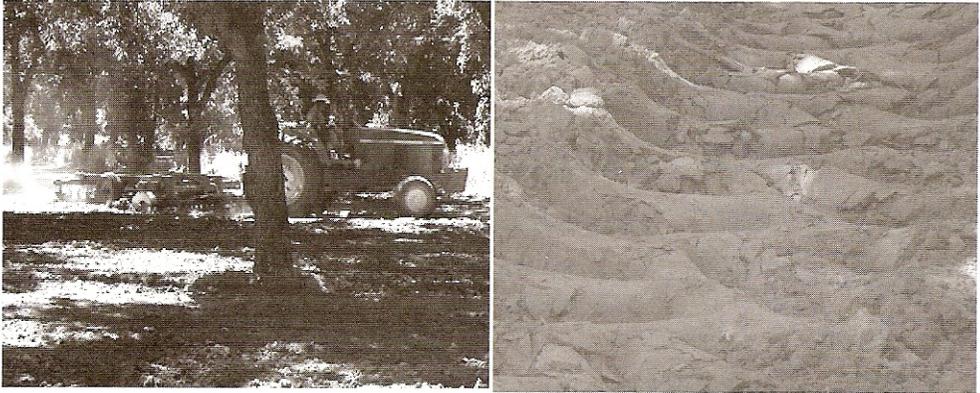


Figura 4. Sistema de labranza intensiva.

Una variante de la labranza intensiva es a través de la incorporación de materia orgánica al suelo de manera constante, representado por la aplicación de estiércol bovino a razón de 20 toneladas por hectárea por año (Figura 5).

Otra manera de manejar el suelo, pero la menos utilizada por los productores (5 %), es la labranza mínima (Figura 6), la cual consiste en dejar de utilizar la rastra y bordeadora como implementos para preparar el suelo al riego, pero sobre todo dejar crecer la vegetación natural o bien inducida, con la finalidad de recuperar la estructura del suelo a través de la raíz y realizar cortes al follaje depositado en la superficie del suelo para generar un amortiguador entre el suelo y el

tráfico de vehículos, así como incrementar y sostener la tasa de materia orgánica a niveles importantes ($> 3\%$).

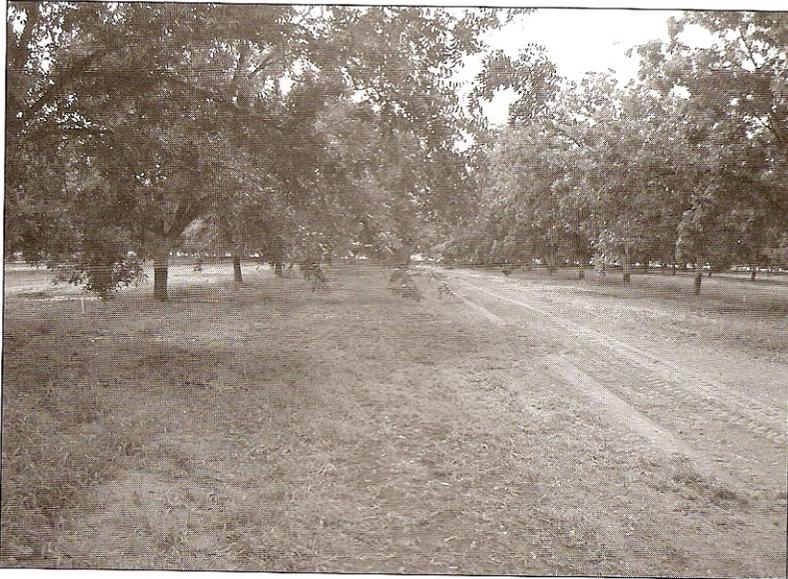


Figura 5. Labranza intensiva con incorporación de materia orgánica.

Posterior al recorrido realizado en la cuenca del Nazas, se establecieron sitios experimentales en huertos con diferente manejo o sistema de labranza para determinar el impacto del tráfico y uso de implementos pesados en las propiedades físicas del suelo, principalmente en la porosidad y en la permeabilidad.



Figura 6. Sistema de labranza mínima.

Distribución de la porosidad en huertos nogaleros

Una propiedad física relevante del suelo que describe el movimiento del agua es la porosidad o espacios vacíos, los cuales se clasifican en poros grandes, medianos y pequeños. En la Figura 7 se presenta el perfil de porosidad del suelo sometido a diferentes sistemas de manejo.

Donde la porosidad total se estableció a partir de valores de la densidad aparente y de su partición en cuatro grupos a partir de los datos obtenidos por el analizador de imágenes: los poros grandes M1, los poros medianos M2, los poros pequeños M3 y los poros no visibles

en microscopio electrónico de barrido (MEB). Estos perfiles muestran las siguientes características:

- a. En huertos bajo un sistema de labranza intensiva (50 años) presentan un perfil de porosidad sensiblemente homogéneo sobre los primeros 30 cm, y muestran la porosidad total más reducida (40 % del volumen).
- b. Huertos bajo un sistema intensivo durante 20 y 30 años presentan perfiles de porosidad total idénticos, con un nivel de superficie muy poroso (más del 55 % a 10 cm de profundidad), disminuyendo hasta 40 por ciento a 20 cm de profundidad; sin embargo, la repartición de la porosidad varía entre estos dos sistemas, ya que el manejo intensivo con incorporación de materia orgánica sostenida (30 años) muestra poros grandes M1 (2 a 10 mm²), pero sobre todo poros medianos M2 (0.02 a 0.1 mm²) en mayor cantidad que el manejo intensivo durante 20 años.
- c. Los huertos con manejo de mínima labranza presentan la más elevada porosidad total sobre el conjunto del perfil (45 a 50 %). Se constató además que los poros medianos (0.02 a 0.1 mm²) y los más grandes (2 a 10 mm²) son más abundantes que en las otras situaciones.

Labranza Mínima

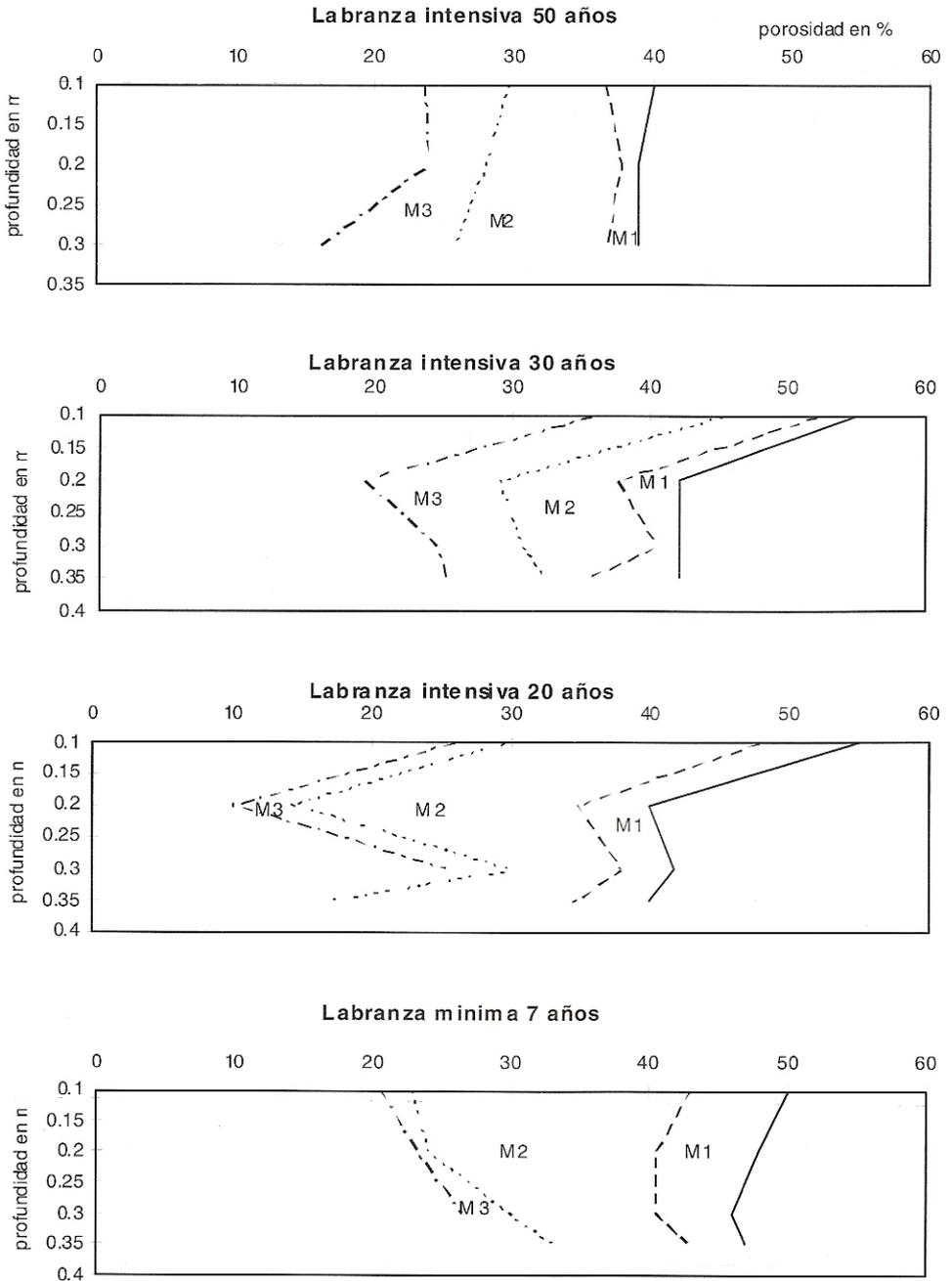


Figura 7. Porosidad del suelo en función del sistema de labranza.

De estos sistemas de manejo del suelo, los huertos bajo labranza intensiva (50 años) constituyen la situación más compacta (40 % de porosidad), la labranza mínima la más porosa (50 %), en tanto la labranza intensiva de 30 y 20 años constituyen situaciones intermedias; pero la repartición de las diferentes clases de poros muestran que el manejo intensivo con incorporación de materia orgánica está más próximo a la situación más porosa, y el manejo de 20 años muy cercana a la más compacta.

Análisis de la morfología de los poros en función del sistema de manejo

La Figura 8 presenta el análisis de la morfología de la porosidad del suelo en relación al sistema de labranza empleado. Este análisis muestra la repartición de los poros según su tamaño y forma (poros redondos, fisurados e irregulares).

Las diferencias encontradas entre el manejo intensivo y mínimo se acompañan además de una modificación en la forma de los poros. Así, para la labranza intensiva la porosidad está constituida por poros de forma redonda y de tamaño pequeño sin conexión entre ellos.

Por el contrario, el suelo bajo labranza mínima está constituido principalmente por poros de forma irregular para los poros de tamaño mediano, siendo abundantes de 10 a 30 cm de profundidad, pero sobretodo se observa una conexión entre ellos, lo que permite un movimiento rápido del agua hacia la zona radical del cultivo.

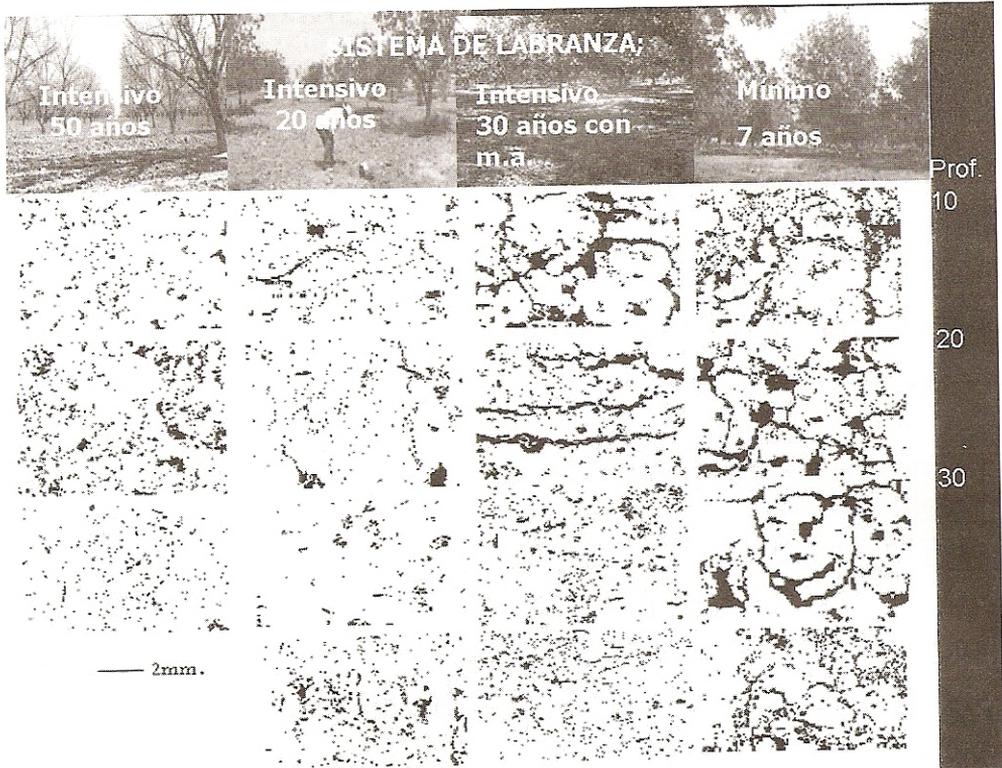


Figura 8. Morfología de la porosidad en función del sistema de manejo del suelo.

Por su parte, en la labranza intensiva con incorporación de materia orgánica, los poros son mayoritariamente irregulares, lo que la aproxima más al sistema de labranza mínima. Sin embargo, se observa que entre 20 y 30 cm de profundidad la porosidad muestra una orientación horizontal, debido al efecto del tráfico de vehículos y a los implementos agrícolas comúnmente denominado piso de arado.

Finalmente, se puede establecer que la diferencia entre los huertos con labranza mínima y con labranza intensiva se acompaña de un incremento en la distribución espacial de poros de forma irregular y de tamaño grande (de 0.1 a 10 mm²).

Conductividad hidráulica a saturación (k_{sat})

Otra propiedad física relevante es la conductividad hidráulica a saturación (K_{sat}) que representa la capacidad máxima permisible por el suelo a conducir agua.

De ahí que las diferencias encontradas en tamaño y forma de los poros anteriormente descritas, condujeron a cuantificar esta propiedad del suelo mediante un dispositivo a carga constante denominado «método de Müntz» (Figura 9) y la utilización de un modelo matemático propuesto por Green *et* Ampt (1911) para el cálculo de la K_{sat} y describir la dinámica que sigue el agua en huertos bajo diferente manejo del suelo.

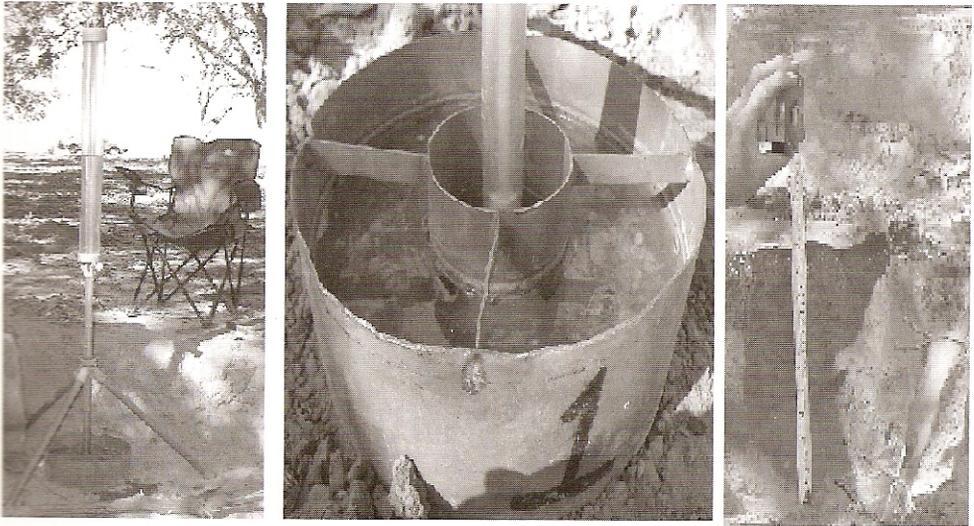


Figura 9. Método de Müntz modificado para medir permeabilidad.

Estos autores propusieron un modelo matemático para describir la infiltración, de la forma siguiente:

$$i(t) = K_s + K_s (h_o - h_f) (\theta_s - \theta_i) / I(t) \quad 1$$

Donde: K_s es la conductividad hidráulica del suelo a saturación, h_o carga hidráulica sobre la superficie del suelo, h_f presión capilar efectiva, θ_s humedad volumétrica final del suelo a saturación, θ_i humedad volumétrica inicial del suelo, $I(t)$ lámina infiltrada durante la prueba.

Esta ecuación permite además determinar la conductividad hidráulica a saturación a partir de una gráfica (Figura 10), donde en el eje de las ordenadas corresponde a la velocidad de infiltración en función del inverso de la lámina infiltrada ($1/I$).

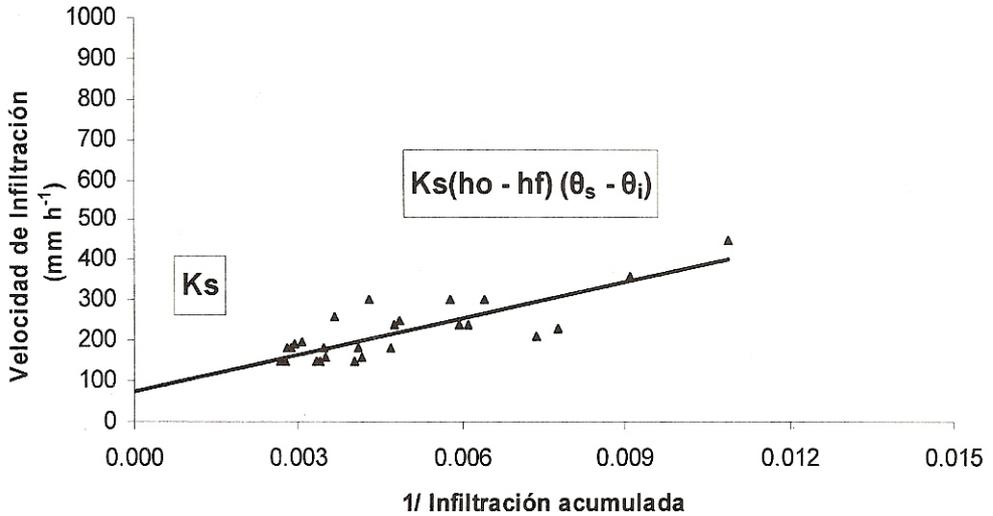


Figura 10. Determinación de los parámetros del modelo de Green y Ampt.

K_s es el valor al origen de la recta, es decir, cuando I tiende al infinito, entonces $1/I$ tiende a cero. La pendiente de esta recta es el producto de $K_s (h_o - h_f) (\theta_s - \theta_i)$.

A continuación se presentan los resultados obtenidos por el método de Mûntz en la superficie del suelo y de los horizontes representativos para determinar la conductividad hidráulica a saturación, a partir de los parámetros del modelo de Green y Ampt.

En las Figuras 11 y 12 se muestran los valores de K_{sat} según el modelo de Green y Ampt (1911) para huertos bajo manejo de labranza mínima e intensiva, respectivamente.

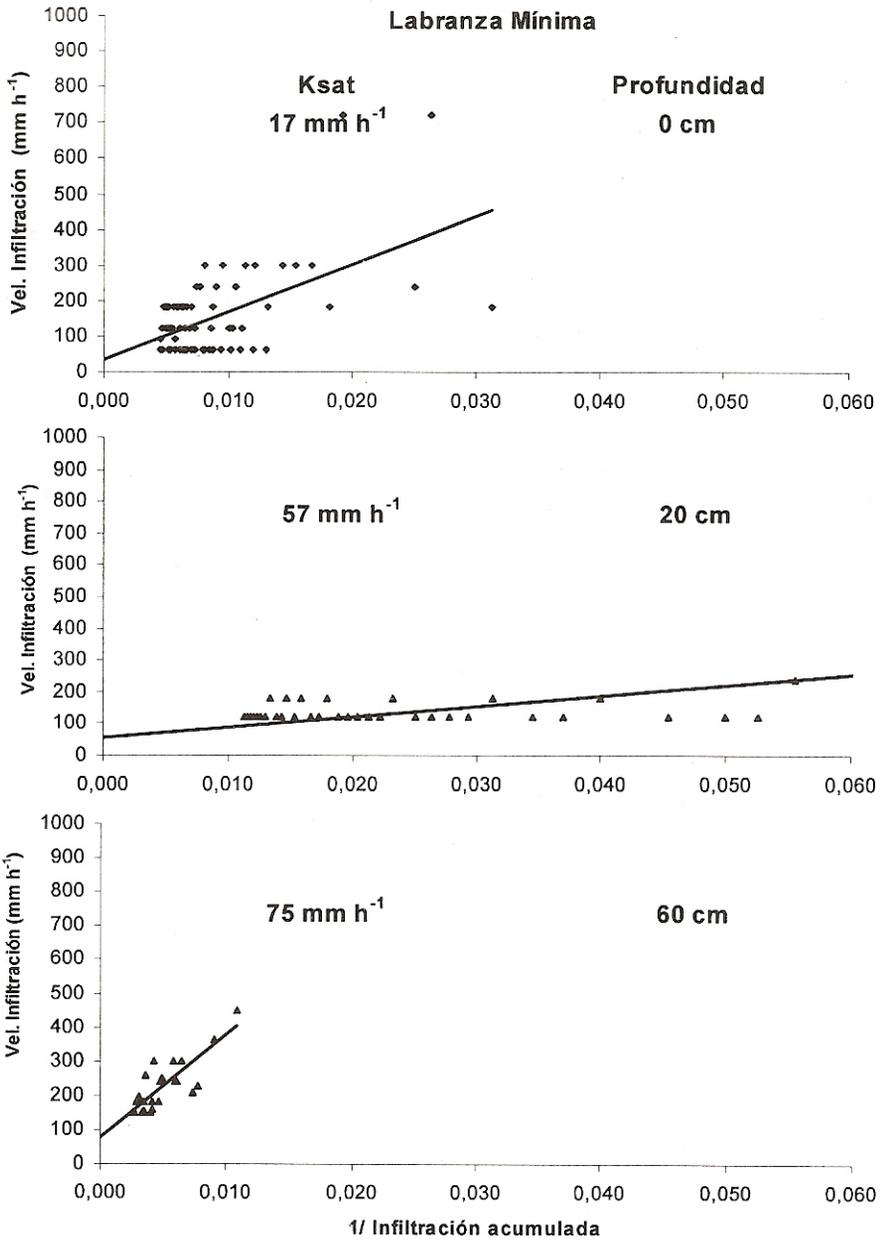


Figura 11. Conductividad hidráulica a saturación del perfil de suelo de la huerta Lácteos Florida, con labranza mínima.

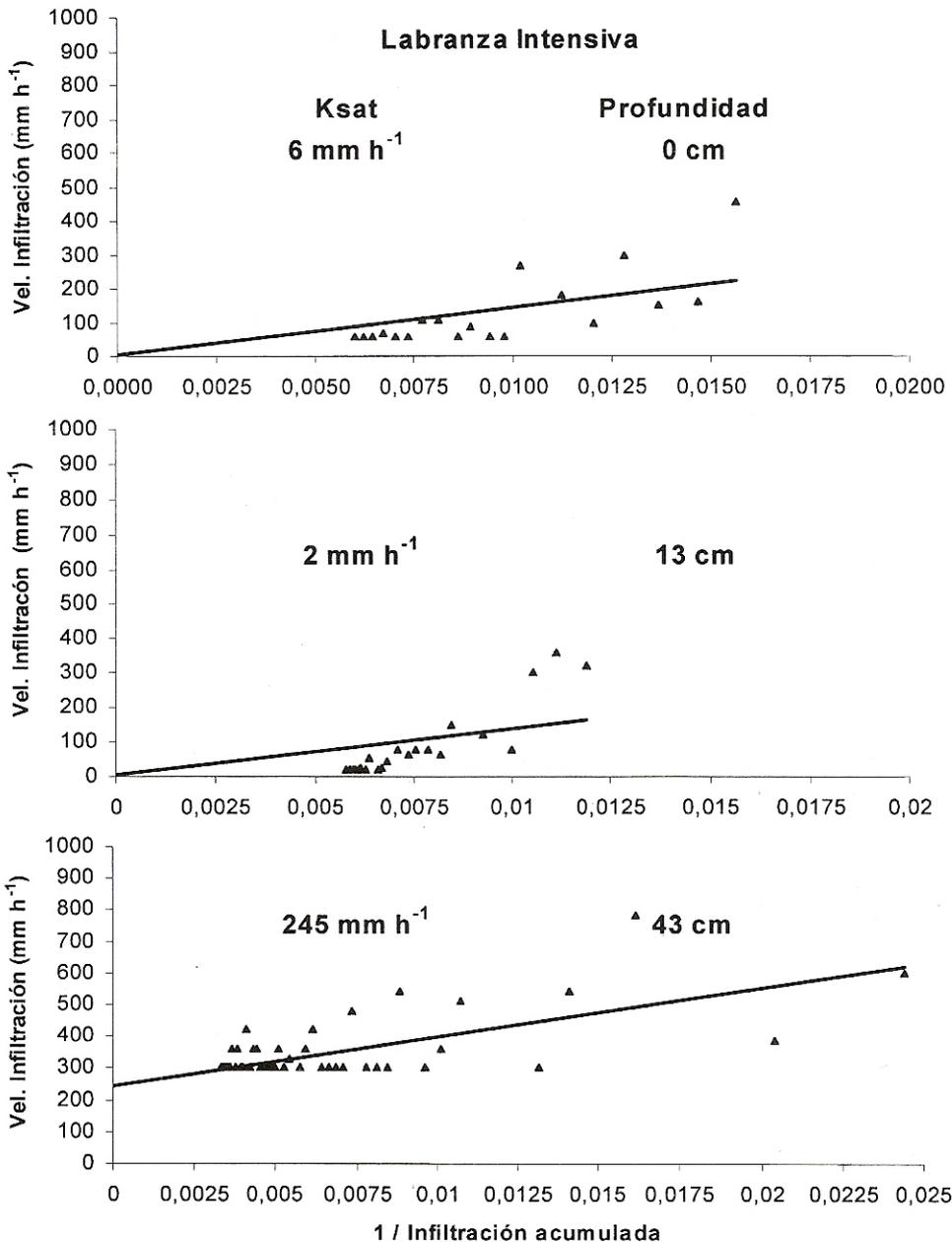


Figura 12. Conductividad hidráulica a saturación del perfil de suelo de la huerta Tierra Blanca, con labranza intensiva.

El análisis de dicha figura permite diferenciar el funcionamiento hidrodinámico de los horizontes con relación en el valor de la conductividad hidráulica obtenida; en los huertos con labranza mínima se observa que la k_{sat} se incrementa de la superficie del suelo (17 mm hr^{-1}) hacia los horizontes o capas de mayor profundidad (57 mm hr^{-1}) y (75 mm hr^{-1}) para 20 y 60 cm, respectivamente.

Lo anterior permite clasificar los horizontes en su aptitud a la infiltración, donde el horizonte ubicado a 60 cm de profundidad es el más apto a la infiltración seguida por la capa de 20 cm y finalmente la superficie del suelo.

Por su parte, los huertos con labranza intensiva (Figura 12) muestran un funcionamiento hidrodinámico muy particular, ya que el valor de la k_{sat} es bajo en superficie (6 mm hr^{-1}) y decrece hasta 2 mm hr^{-1} a la profundidad de 13 cm y enseguida se incrementa hasta 245 mm hr^{-1} a 43 cm de profundidad; lo anterior permite constatar que en la superficie y a 13 cm de profundidad se presentan serios problemas de permeabilidad.

Estas diferencias encontradas entre la labranza intensiva y mínima, en porosidad y permeabilidad, permiten un ahorro de agua hasta un 18 por ciento. Considerando que en el país existen 38 855 ha de nogal bajo riego y que la introducción de labranza mínima representa el 20 por ciento

de los costos de producción, el ahorro por introducirla sería aproximadamente de 5.29 millones de dólares estadounidenses del 2004, que pasarían a formar parte del ingreso del productor, y con un ahorro de agua en nogal de 3, 240 m³ ha⁻¹.

CONCLUSIONES

La labranza mínima es una tecnología diseñada para el manejo del suelo y cultivo de nogal pecanero en el norte de México, que logra la disminución de los costos de producción en un 20 por ciento, ahorros de hasta 18 por ciento en el volumen de agua para el riego del cultivo y el incremento de la materia orgánica de 0.5 (de suelos con labranza tradicional) superior al 3 por ciento en suelos con labranza mínima, lo que permite la recuperación de la estructura del suelo sin afectar el rendimiento del cultivo.

Se logra simultáneamente una optimización del uso de energía para extracción de agua subterránea de riego y disminuye la contaminación al ambiente al disminuir el uso de tractores, así como la recuperación del suelo y su manejo sustentable y, por ende, un mejor aprovechamiento del agua de riego.

LITERATURA CITADA

- Bouma, J., A. Jongerius., D. Schoonderbeek. 1979. Calculation of saturated hydraulic conductivity of some pedal clay using micromorphometric data. *Soil Sci.Soc.Am J.*, 43, 261-264 p.
- Bruand, A. 1986. Contribution à l'étude de la dynamique de l'espace poral. Utilisation des courbes de retrait et des courbes de rétention d'eau. *Sci. Sol*, 24, 351-362 p.
- Bullock P., et J.A. Mc Keague. 1984. Estimating air-water properties of a clay soil. *Comptes Rendus du colloque fonctionnement hydrique et comportement des sols*, Dijon, 22-25 mai 1984, A.F.E.S., 55-67 pp.
- Bullock P. et A.J.Thomasson. 1979. Rothamsted studies of soil structure. II Measurement and characterisation of macroporosity by image analysis and comparison with data from water retention measurements. *J Soil Sci* 30, 391-413.
- Curmi, P. 1988. Structure, espace poral du sol et fonctionnement hydrique. Analyse de quelques cas concrets. *Sci. Sol*, 26, 3, 203 - 214 p.
- Chancellor, W.J. 1991. Compaction of soil agricultural equipment. *Bulletin 1991 University of California Davis*.
- Descroix L., J. F. Nouvelot y J. Estrada 1997. Geografía de las lluvias en una cuenca del norte de México: Regionalización de las precipitaciones en la Región Hidrológica 36. Folleto Científico No. 10. CENID RASPA INIFAP – ORSTOM. Gómez Palacio, Dgo., México. 52 p.
- German, P. et K. Beven. 1981. Water flow in soil macropores. I. An experimental infiltration. *J. Soil Sci.*, 32, p 1-13.

- González C., G. 1998. Influences des pratiques culturales sur la structure des couches supérieures de quatre vergers de noyer pecan (*karya illinoensis*, koch) irrigués de la Comarca Lagunera (Mexique). Diplôme d'Etude Approfondi (DEA) National de Science du sol à Rennes France, memoria en extenso.
- _____. 2002. Fonctionnement hydrodynamique des sols de versant en amont de petits barrages en region semi-aride du Nord Mexique (Ranch Atotonilco). Thèse de doctorat, Université d'Angers, France.
- González C., G., I. Sánchez C., D. García A. 2004. La porosidad del suelo mediante el análisis de imagen en huertas de nogal pecanero (*karya illinoensis*, Koch) región norte de México. Revista Interamericana Terra, Vol. 22 Num. 3.
- González C. G. I. Sánchez C., J.P. Rossignol. 2004. Morfología de los poros de circulación preferencial del agua en el suelo mediante técnicas del análisis de imagen. Revista Ingeniería Hidráulica de México, Vol. XIX, Num. 3.
- Green, W. H. y G. A. Ampt. 1911. Studies in Soil Physics. I. The Flow of Air and Water Through Soils. J. Agr.Sci., 4, p 1-24.
- Grimaldi, M. et Boulet. 1990. Relation entre l'espace et le fonctionnement hydrodynamique d'une couverture pédologique sur socle de Guyane française. Cah. ORSTOM, sér. Pédologie., vol XXV, No 3 275-263 pp.
- Hallaire V. 1997. Description of microcrack orientation in a clayey soil using image analysis. (A.j. Ringrose-Voase, Gs Humphreys, eds) Elsiwer, Amsterdam.
- Hallaire, V. et J.P. Cointepas. 1993. Caractérisation de la macroporosité d'un sol de verger par analyse d'image. Etude et gestions des sols, 13, 155-164.

- Hallaire, V., P. Curmi. et Widiatmaka. 1997. Morphologie de la porosité et circulations préférentielles en saturé. Cas des horizons d'un système pédologique armoricain. Etude et Gestions des sols, 4,2. 115-126 pp.
- Puente G., A., A. Toca U. y A. Verde O. 2002. Nuez, análisis de su rentabilidad. Revista Claridades Agropecuarias No. 107 del mes de julio. Ed. SAGARPA - ASERCA. México, D.F.
- SAGARPA. 2004. Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. [En línea]. Disponible: <http://siea.sagarpa.gob.mx> [2004 Dic 1].
- SAGARPA, 1990-2004, Anuarios Estadísticos de la Producción Agropecuaria, Cd Lerdo, Durango, Sistema de Información Agropecuaria, Región Lagunera.
- Stengel P. 1979. Utilisation de l'analyse des systèmes de porosité pour la caractérisation de l'état physique du sol *in situ*. Ann. Agron., 30, (1), 27-51 pp.
- Sustaita R. F., V. Ordaz Ch., C. Ortiz S. y L. González. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. Agrocencias 34: 379-386.

Esta publicación representa el esfuerzo combinado entre investigadores y productores con un fin común:
La generación de tecnología y su transferencia en los huertos nogaleros del país, a fin de mejorar la competitividad y la sustentabilidad de los recursos naturales.

Ing Benjamín Ortega Figueroa
Presidente del Patronato para
la Investigación y Producción de Nuez

Comité Editorial del **CENID-RASPA**

Presidente: Dr. José Antonio Cueto Wong

Secretario: Ing. Raquel Anguiano Gallegos

Vocales: Dr. Ignacio Orona Castillo
Dr. Guillermo González Cervantes

Editor Técnico:

Dr. Pedro Andrade Sánchez

Esta publicación se terminó de imprimir en el mes de diciembre del 2005 en los talleres del Grupo Colorama de Torreón, Coahuila.

Su tiraje consta de 1000 ejemplares



CENID-RASPA

Km 6.5 margen derecha canal Sacramento
Gómez Palacio. Durango. MÉXICO.
Apdo. Postal 41, Cd. Lerdo, Dgo.

Tels. y Fax: 01 (871) 719-10-76, 719-10-77 y 719-11-34
e-mail: gonzalez.guillermo@inifap.gob.mx