

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE.



**EL FLUJO PERMANENTE Y LA EVALUCIÓN DEL DISEÑO DE RIEGO EN
HUERTOS DE NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis*, Koch) BAJO SISTEMAS DE
MANEJO DIFERENTE.**

POR

EDUARDO CHÁVEZ RAMÍREZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

TORREON, COAHUILA, MÉXICO

SEPTIEMBRE DEL 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EL FLUJO PERMANENTE Y LA EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE RIEGO
EN HUERTOS DE NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis*, Koch) BAJO
SISTEMAS DE MANEJO DIFERENTE.

POR

EDUARDO CHÁVEZ RAMÍREZ

TESIS, que se somete a consideración del comité asesor, como requisito parcial
para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

ASESOR PRINCIPAL:


Dr. GUILLERMO GONZÁLEZ CERVANTES

ASESOR:


M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR:


Dr. VICENTE DE PAÚL ÁLVAREZ REYNA

ASESOR:


M.C. MIGUEL RIVERA GONZÁLEZ


M.C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS QUE PRESENTA EL C. EDUARDO CHÁVEZ RAMÍREZ Y QUE SE SOMETE A
LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR

PRESIDENTE DEL JURADO


M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL


Dr. GUILLERMO GONZÁLEZ CERVANTES

VOCAL


Dr. VICENTE DE PAÚL ÁLVARES REYNA

VOCAL SUPLENTE


M.C. ERNESTO LUNA DAVILA


M.C. JOSÉ JAIME LOZANO GARCÍA

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

Septiembre del 2004.

Torreón, Coahuila, México



AGRADECIMIENTOS.

A MI ALMA MATER.

Por el culminar de mi formación profesional dentro de sus instalaciones, gracias por brindarme los conocimientos de ingeniería.

AL PATRONATO DE NOGALEROS.

Estando a cargo el Ing. Benjamín Ortega Figueroa. Le expreso las más sinceras gracias por el apoyo brindado para el logro del presente trabajo de investigación.

AL CENID-RASPA.

Por permitirme utilizar sus instalaciones, herramientas y personal de trabajo que fueron de importancia para la realización de la presente investigación.

AL Dr. GUILLERMO GONZÁLEZ CERVANTEZ.

Mis sinceros agradecimientos por darme la oportunidad de realizar la presente investigación bajo su asesoría, orientación, revisión y sobre todo por el apoyo y amistad que me brindo durante la presente.

AL M.C. FEDERICO VEGA SOTELO.

Por la amistad y tiempo brindado durante la presente investigación y durante toda la carrera en la Narro. ING. Gracias.

AL M.C. ENESTO LUNA DAVILA.

Por el apoyo brindado en la etapa de estudiante y transmitir sin interés alguno todos sus conocimientos que se serán de gran utilidad en la vida profesional.

AL M.C. ABEL ROMAN LOPEZ.

Por sus consejos y amistad durante la carrera profesional.

AL Dr. VICENTE DE PAUL ALVEREZ REYNA.

Por la valiosa contribución a mi formación profesional y colaboración de revisor en el presente trabajo.

AL M.C. CARLOS EFRÉN RAMÍREZ CONTRERAS.

Por todos los grandes conocimientos que me ofreció durante la etapa de estudiante y el apoyo brindado en sin numero de ocasiones durante la presente.

A TODOS MIS PROFESORES DE RIEGO Y DRENAJE.

Gracias por tener la paciencia, comprensión y dedicación para formar grandes profesioncitas que sirvan a la sociedad agrícola.

A MIS AMIGOS/ COMPAÑEROS DE INGENIERIA DE RIEGO

Juan Sánchez Camarillo

Maurilio Flores Rodríguez

Simón González Rodríguez

Ma. De Lourdes Ortiz Pérez

Jesús Manuel Vázquez Rentería

Fernando Hernández Arellano

Elvis Lechuga Rocha

Edgar Melchor Yépez Tafoya

Por la sinceridad que existe en cada uno de ustedes, cada que alguno flaqueaba ahí estaban los demás para dar los grandes consejos y regaños que nos hacían fuertes ante cualquier adversidad.

DEDICATORIAS.

A DÍOS

Por prestarme la vida y llegar con bien de salud al culmino de esta etapa profesional en apoyo de todos los seres queridos.

A MIS PADRES

Sr. Fidel Chávez Hernández.

Sra. Ma. Reynalda Ramírez Chávez.

Con todo mi amor, por darme la vida, cuidados, cariño y enseñarme a ser una persona que pueda superar momentos difíciles de la vida, por estar presentes siempre que los necesito, por darme la oportunidad de estudiar una carrera profesional. Para ustedes no hay palabras para agradecer tan grandes esfuerzos y sacrificios que hicieron por mí en todos los momentos de mi existencia. Padres míos Díos los bendiga... Los quiero mucho.

A MIS HERMANOS

Salvador. Por tu ejemplo de superación y a tus consejos, gracias.

Efrén. Por impulsarme a seguir adelante y no dar pasos a tras, mis agradecimiento por que siempre estuviste en el momento que te necesite.

Ma. Guadalupe. Por transmitirme tu alegría y enseñarme que en las pequeñas cosas se puede encontrar la felicidad.

Agustín. Por ser la persona de quien siempre tomare la humildad, Pequeño hermano gracias.

Gracias por ser esa familia a quien tanto le debo, y de quien siempre le estaré agradecido.

A MI ESPOSA

Isabel. Por brindarme comprensión, paciencia, amor y consejos en los momentos difíciles, mi amor gracias por creer en mí y darme esos momentos agradables de mi vida.

A MI HIJA

Diana Yaneth. Tu eres la razón, fuerza e inspiración para seguir hacia el culmino de los objetivos en la vida.

A MI AMIGO

Paulo Efrén García Ortega. Gracias por tan valiosos consejos, apoyo y sincera amistad que me fue brindada para dar un gran paso en mi vida profesional.

ÍDICE DE CONTENIDO.

	Páginas
ÍNDICE DE CUADROS	
RESÚMEN	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. JUSTIFICACIÓN	3
V. REVISIÓN DE LITERATURA	4
5. 1. Generalidades del nogal pecanero	4
5. 1. 1. Origen	4
5. 1. 2. El nogal pecanero en México	4
5. 1. 3. El nogal pecanero en la Región Lagunera	5
5. 2. El suelo	6
5. 3. El movimiento del agua en el suelo	8
5. 3. 1. Flujo permanente	8
5. 3. 1. 1. El flujo permanente y la Ley de Darcy	8
5. 3. 2. Flujo transitorio	9
5. 3. 2. 1. Ley del flujo transitorio	9
5. 3. 3. Fuerzas de retención	9
5. 3. 3. 1. Capacidad de campo	10
5. 3. 3. 2. Punto de marchitez permanente	10
5. 4. Riego	11
5. 4. 1. El agua de riego	11
5. 4. 2. Aplicación de agua al suelo con carga hidráulica	11
5. 4. 2. 1. Riego por superficie	11
5. 4. 3. Aplicación de agua al suelo sin carga hidráulica	12
5. 4. 3. 1. Riego por aspersion	12
5. 4. 3. 2. Riego por goteo	12
5. 5. La conductividad hidráulica a saturación	14
5. 6. Modelos y Ecuaciones para calcular el flujo permanente y transitorio	17
5. 6. 1. Flujo permanente	17

5. 6. 2. Flujo transitorio	18
5. 7. Dispositivos para obtener datos de flujo permanente y transitorio en campo	21
5. 7. 1. Infiltrómetro de disco a tensión	21
5. 7. 2. El Permeámetro Guelph	22
5. 7. 3. Método de Muntz modificado	22
5. 8. Curva de velocidad de infiltración	24
5. 9. Curva de retención de humedad	25
VI. MATERIALES Y METÓDOS	27
6. 1. La Comarca Lagunera	27
6. 2. Localización	27
6. 3. El clima	28
6. 4. Cultivos	28
6. 5. Eficiencia de aplicación del riego	30
6. 6. El nogal pecanero y las huertas seleccionadas	30
6. 7. Características del manejo de los huertos	31
6. 7. 1. Lácteos Florida	31
6. 7. 2. Tierra Blanca	32
6. 8. Sitios de muestreo	32
VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES	36
7. 1. Análisis físico y químico de los horizontes	36
7. 2. Densidad aparente en seco y resistencia a la penetración	39
7. 3. Curva de humedad volumétrica en función del potencial hídrico	42
7. 4. Infiltración	44
7. 4. 1 Velocidad de infiltración mediante el método de Muntz	44
7. 4. 2. La infiltración y el modelo de Green et Ampt	48
VIII. CONCLUSIONES	54
IX. SUGERENCIAS	55
X. BIBLIOGRAFÍA	56
XI. ANEXOS	62

ÍNDICE DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Superficie de nogal pecanero en producción en la Región Lagunera	5
Cuadro 2. Cultivos en la Región Lagunera ciclo agrícola Otoño-Invierno 1999-2000, Primavera-Verano y Perennes 2000	29
Cuadro 3. Metodología para cuantificar las características físicas y químicas del suelo	35
Cuadro 4. Clase textural, M.O y pH del huerto Lácteos Florida	37
Cuadro 5. Clase textural, M.O y pH del huero Tierra Blanca	39
Cuadro 6. Valores de pd y Rp en la huerta Lácteos Florida	40
Cuadro 7. Valores de pd y Rp en la huerta Tierra Blanca	41

RESUMEN
ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Infiltración según Horton	19
Figura 2. Infiltrómetro de disco a tensión	21
Figura 3. Permeámetro Guelph	22
Figura 4. Localización de la Comarca Lagunera	27
Figura 5a. Huerto Lácteos Florida	30
Figura 5b. Huerto Tierra Blanca	30
Figura 6a. Labranza mínima	31
Figura 6b. Riego por aspersión	31
Figura 7a. Riego por gravedad	32
Figura 7b. Manejo intensivo del suelo	32
Figura 8. Descripción del suelo mediante el perfil	33
Figura 9. Método de Múntz modificado para medir permeabilidad	34
Figura 10. Dimensiones del pozo de estudio	35
Figura 11. Perfil del suelo de la huerta Lácteos Florida	36
Figura 12. Perfil del suelo de la huerta Tierra Blanca	38
Figura 13. Penetrómetro de Dichey-Jonh	40
Figura 14. Curva de retención de humedad volumétrica en la huerta Lácteos Florida	43
Figura 15. Curva de retención de humedad volumétrica en la huerta Tierra Blanca	44
Figura 16. Velocidad de infiltración del perfil del suelo de la huerta Lácteos Florida	45
Figura 17. Velocidad de infiltración del perfil del suelo de la huerta Tierra Blanca	47
Figura 18. Determinación de los parámetros del modelo de Green et Ampt	49
Figura 19. Conductividad hidráulica a saturación del perfil de suelo de la huerta Lácteos Florida	51
Figura 20. Conductividad hidráulica a saturación del perfil de suelo de la huerta Tierra Blanca	52

RESÚMEN.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar y describir el diseño actual de riego en dos huertos de nogal pecanero a partir de las características físicas del suelo: Resistencia a penetración (R_p), Densidad aparente (ρ_d), conductividad hidráulica a saturación (K_{sat}) y la curva de retención de humedad, sobre las principales estratos u horizontes del suelo. Se seleccionaron dos huertos de Nogal con sistema de labranza diferente ubicados en la parte baja de la Comarca Lagunera; **1.- Labranza de conservación** huerto "Lácteos Florida" que consiste en mantener una cubierta vegetal en la superficie del suelo **2.- Labranza intensiva** huerto "Tierra Blanca" que consiste en roturar el suelo de manera constante. Ambos sistemas de labranza tienen por objetivo incrementar la infiltración del agua de riego, hacia capas profundas. Sin embargo los resultados muestran que en "Florida" los valores de R_p y ρ_d disminuyeron de 6 a 5 kg/cm^2 y de 1.3 a 1.2 gr/cm^3 respectivamente, esto en superficie y a la profundidad (40 cm), por su parte la K_{sat} se incrementa de 17 a 57 mm/hr para las mismas profundidades, mientras que en "Tierra Blanca" los valores de R_p y ρ_d se incrementan de 8 a 18 kg/cm^2 y de 1.4 a 1.6 gr/cm^3 respectivamente lo anterior en superficie y a 13 cm de profundidad (piso de arado), con una K_{sat} que disminuye considerablemente de 6 a 2 mm/hr. Se concluye que, el sistema de labranza utilizado genera cambios substanciales en los espacios por donde circula el agua de riego, de ahí que la huerta Lácteos Florida presento condiciones para un mejor aprovechamiento del agua de riego a diferencia de Tierra Blanca, por lo cual es importante de considerar el sistema de manejo del suelo para el cálculo y diseño del riego.

Palabras claves: Labranza, riego, dinámica del agua.

I. INTRODUCCIÓN.

El nogal pecanero (*Carya illinoensis*, Koch) tiene su origen en el Norte de México y Sur de los Estados Unidos (Medina y Cano, 1994), a nivel nacional los estados con mayor superficie cultivada son; Chihuahua (34,495 Has), Coahuila (12,500 Has), Nuevo León (6,200 Has), Durango (3,300 Has) y Sonora (3,200 Has) (Sagarpa - Inifap, 2002).

El cultivo de nogal en México como plantación de acuerdo a Brison (1976) se remonta a inicios del siglo pasado en el estado nortero de Nuevo León, donde en 1904 se establece la primera huerta. Desde entonces, el cultivo ha ganado importancia en el país. Ya que dentro de las almendras, la pecana es la más importante que se produce en México.

Este cultivo en su ambiente natural crece en clima húmedo, con precipitaciones anuales que varían de 760 mm a 2,100 mm. Lo anterior contrasta con las condiciones climáticas que se presentan en el norte de México, bajo un gradiente de precipitación pluvial anual de 250 a 600 mm según la altitud (Estrada 1999). En estas condiciones climáticas se ubican los huertos de nogal del país, por ello el problema de cantidad, distribución y disponibilidad de agua para irrigación y explotación comercial de nuez pecana se presenta en términos difíciles (González, 2003). Esto ha impulsado a los productores a utilizar cada vez más el agua del subsuelo y eficientizar la distribución y aplicación de este recurso, para ello han tecnificado los sistemas de riego e implementado prácticas diferentes de manejo (González, 1995), con la finalidad de incrementar la infiltración y disponibilidad de agua en las capas superficiales y subsuperficiales.

Para describir la dinámica que sigue el flujo del agua en la superficie y capas subsuperficiales del suelo, se requiere conocer el parámetro hidrodinámico denominado conductividad hidráulica a saturación. Lo anterior permite diseñar y establecer; la frecuencia, tiempo y lamina de riego, con la finalidad de aportar el agua necesaria,

evitando producir excesos o déficit hídricos que asfixien o estresen al cultivo o impacten en el mal manejo de este recurso.

En este trabajo se utilizó el método a carga constante *in situ* que permitirá conocer la capacidad máxima de conducción hídrica por esa capa del suelo, mediante la metodología de Muntz modificado por Rosse (Thiebaut, 1972).

II. OBJETIVO.

Evaluar el diseño actual de riego en dos huertos de nogal pecanero bajo manejo del suelo diferente a partir de:

Valores de conductividad hidráulica a saturación (K_{sat}) utilizando un dispositivo a carga constante en campo

Valores de curva de retención de humedad obtenida en laboratorio, sobre las principales capas u horizontes de suelo, en dos huertos con manejo diferente.

III. HIPOTESIS.

Los valores de conductividad hidráulica a saturación (flujo permanente) y conductividad hidráulica (flujo transitorio), varían en profundidad del suelo en función del manejo utilizado (labranza intensiva y de conservación).

IV. JUSTIFICACIÓN.

En los últimos 10 años el cambio climático ha ocasionado un déficit de lluvias principalmente en el norte de México. Esto restringe la utilización del agua exógena proveniente de las presas hacia el cultivo de nogal; por lo que se tienen que generar métodos confiables para cuantificar la conductividad hidráulica a saturación in situ y apropiados para tener un diseño de riego adecuado a un suelo determinado. Considerando las diferentes capas del suelo como el medio físico donde el agua se desplaza, su capacidad de retención para que este disponible y utilizada por la raíz del cultivo, lo anterior permitirá diseñar estrategias para el buen uso y manejo del recurso agua.

V. REVISIÓN DE LITERATURA.

5.1. GENERALIDADES DEL NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis*, Koch).

5.1.1. Origen.

Es originario del sur de Estados Unidos de América o norte de México, encontrándose en los estados de: Texas, Oklahoma, Luisiana y Mississippi (Willars, 1973). Donde México representa el límite en la distribución del nogal pecanero (*Carya illinoensis*, Koch) (BRISON, 1976). La clasificación taxonómica del nogal de nuez de pecana es ubicada dentro de la familia: Juglandaceae y su nombre científico es: *Carya illinoensis* Koch (Sagarpa – Inifap, 2002).

5.1.2. El nogal pecanero en México.

En México, las zonas productoras de nuez se localizan en los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango y Sonora. La superficie establecida con este cultivo es de aproximadamente 60 mil hectáreas, de las cuales 97% es regada con agua del subsuelo bajo riego de gravedad, el resto por riego presurizado y recientemente (año, 2004) por goteo subterráneo (cintilla). Dadas las condiciones climáticas en estas zonas productoras, el rendimiento promedio es de 2 a 3 toneladas por hectárea por año según la variedad y ubicación geográfica, lo anterior se considera el máximo rendimiento que el árbol puede producir con una almendra aceptable; rendimientos superiores a las 3 ton/ha/año, disminuye el porcentaje y tamaño de la almendra y se incrementa significativamente la presencia de nuez germinada y ruezno pegado (Sparks et al., 1995; Sparks, 1996; Godoy et al., 1999).

Del valor total de la producción de cultivos perennes, en 1999 el nogal aportó 95.8 millones de pesos, que representan el 6.5 por ciento del valor de estos cultivos; es decir, es el segundo más importante después de la alfalfa, la cual representa un 68.9 % del valor de este tipo de cultivos.

5. 1. 3. El nogal pecanero en La Región Lagunera.

El nogal pecanero es el segundo cultivo de importancia en la Comarca Lagunera (Cerde, 2003). En 1997, la superficie de nogal en producción en la Región Lagunera, era de 4,668 hectáreas (Cuadro 1), de las cuales 1,823 eran ejidales y 2,845 de la pequeña propiedad. En el mismo año se reportaron 1,537 hectáreas en desarrollo (SAGAR, 1997). Que sumadas a las 4,903 en producción en 1999, suma un total de 6,440 hectáreas, con un rendimiento promedio de 0.95 ton/ha, con un mínimo de 0.64 ton/ha y un máximo de 1.22 ton/ha (Medina, 1998).

Cuadro 1. Superficie de nogal pecanero en producción en la Región Lagunera (Sagarpa – Inifap, 2002).

Municipio	Superficie (ha)		
	Ejido	P. Propiedad	Total.
Lerdo	69	441	510
Gómez Palacio	82	391	473
Mapimi		5	5
Nazas	386	177	563
Rodeo	142	68	210
Tlahualilo	20	32	52
Simón Bolívar	13		13
Suma Durango.	712	1114	1826
Matamoros	328	404	732
San Pedro	116	601	717
Torreón	137	439	576
Viesca	415	35	450
Fco. I. Madero	115	252	367
Suma Coahuila	1,111	1,731	2,842
Región Lagunera	1,823	2,845	4,668

5. 2. EL SUELO.

La porosidad del suelo representa el porcentaje de vacíos existentes al interior del mismo y depende de la textura, estructura, actividad biológica y del sistema de labra utilizado. Cuanto más grueso (arena) son los elementos de la textura mayores son los vacíos, excepto si las partículas más finas (limos) se colocan dentro de esos espacios o si los coloides (arcillas) los obstruyen. No obstante lo más común es que los suelos con elementos gruesos presenten poros también gruesos y los suelos limosos y arcillosos, poros muy numerosos pero de menor tamaño. Por otra parte la materia orgánica contribuye a recuperar y aumentar la porosidad mediante la agregación de las partículas minerales del suelo.

El número, tamaño y continuidad de los poros juegan un papel determinante en la dinámica del agua en las diferentes capas del suelo y sobretodo en la retención y disponibilidad de esta hacia la raíz del cultivo. La morfología de los poros varía en función del grado de compactación de las diferentes capas a consecuencia del manejo utilizado por el productor.

Cualquier tipo de tránsito por el campo, y la utilización de prácticas culturales como el arado y el pastoreo de animales generan una presión en la superficie del suelo que se compacta, esta compactación se incrementa especialmente cuando el suelo está húmedo. La presión incrementa la cantidad de suelo por unidad de volumen y se refleja en una porosidad reducida en espacio y tamaño. Lo anterior afecta la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica a saturación y la capacidad de almacenamiento de agua. Las raíces de las plantas tienen dificultad para penetrar y sus sistemas radiculares no desarrollan bien (Benítez, 2003).

En el suelo se distinguen tres tipos de poros en función de su tamaño; macro, meso y micro poros.

Los macro poros, o porosidad no capilar, esta formada por espacios grandes, ocupados frecuentemente por aire. A menudo se presentan en forma de grietas que separan los agregados e incluso penetran en los mismos. Su importancia depende sobre todo de la estructura del suelo, su grado de fisuración y parcialmente de la textura. Es más elevada en suelos arenosos.

Los microporos dependen también de la estructura pero sobre todo de la textura (arcillas) y de la actividad biológica. Es muy grande en los suelos ricos en elementos finos y en los dotados de una microfauna numerosa y activa.

Para irrigación y explotación comercial de los huertos de nogal pecanero, se ha intensificado el uso de maquinaria e implementado practicas agrícolas como en establecer una cubierta vegetal sobre la superficie del suelo con la idea de evitar problemas de compactación e infiltración, y de esta forma mantener una condición adecuada para el desarrollo del cultivo mejorando su productividad y economía del agua. Esto ha impulsado a los agricultores a favor de una mecanización excesiva y adquisición de maquinaria cada vez más pesada para utilizarse en las prácticas de manejo de las huertas nogaleras en los últimos 40 años (González, 1995).

El uso intensivo y prácticas inoportunas de labranza a lo largo de estos 40 años, ha conducido a la degradación estructural del suelo afectando principalmente las capas superficiales y subsuperficiales, lo que puede ser descrito y cuantificado a partir de la abundancia relativa y de la distribución espacial de espacio poroso. Esto puede realizarse a través de técnicas de análisis de imagen, procedimiento que cuenta ya con un importante desarrollo en el estudio de porosidad de suelo (González, 2003).

5. 3. MOVIMIENTO DE AGUA EN EL SUELO.

Cuando se aplica agua a un suelo, esta se infiltra y desplaza dentro de los poros del suelo, siempre que no existan barreras impermeables que restrinjan su movimiento. El principio básico de este fenómeno, es la presencia de un gradiente de energía del agua (potencial hídrico) y la capacidad que tiene el suelo, como cuerpo poroso, para conducir agua (S. W. Buol et al, 1981).

Posterior al aporte de agua al suelo, está presenta un movimiento constante y presentan dos tipos de movimiento; flujo permanente y transitorio.

5. 3. 1. Flujo permanente.

El movimiento de agua en suelos saturados es más fácil de comprender y de describir matemáticamente que el movimiento en suelos no saturados, porque, en general, el termino almacenamiento permanece constante y la velocidad del flujo es directamente proporcional a la fuerza impulsora.

El flujo permanente y la ley de Darcy.

“La ley Darcy dice que en un suelo saturado el agua se mueve en dirección de la disminución de presión hidráulica, con una velocidad directamente proporcional a la diferencia de presión hidráulica entre dos puntos, y la conductividad del suelo al agua, inversamente a la distancia entre los dos puntos”.

En general se efectúa cuando los poros del suelo están ocupados por agua y en sentido vertical, obedece al agua gravitacional, es decir el agua no retenida por los minerales del suelo.

5. 3. 2. Flujo transitorio.

El movimiento de agua en suelos no saturados interesa a todos los que se dediquen a estudiar las relaciones suelo-planta-agua, recuperación de suelos, calidad del medio ambiente y trabajos geohidrológicos. El agua no solamente se infiltra y almacena para uso futuro, sino también se mueve de un suelo no saturado a las raíces de las plantas, y los sitios de evaporación o se pierde por penetración profunda.

Ley del flujo transitorio.

“El agua fluirá a través de una interfase aire-agua solamente cuando la presión hidráulica (movimiento capilar) sea suficientemente mayor que la presión atmosférica para que venza la tensión superficial del flujo”.

En esas condiciones, el agua se mueve de poro a poro fluyendo sobre la superficie de los agregados y/o de las partículas, aunque en los macro poros exista una cantidad considerable de aire. El movimiento puede hacerse en cualquier dirección según la succión que ejercen los poros cercanos. En suelos humectados por lluvia, el flujo inicial es hacia abajo, debido a la acción gravitacional, pero después de que se ha llegado a capacidad de campo, el movimiento de ordinario es lateral o hacia arriba en respuesta a un gradiente de humedad que se forma debido al secamiento de la superficie o absorción por las raíces de las plantas. El flujo transitorio es el proceso al que se deben la lixiviación y tensión de la humedad del suelo, efectuándose en respuesta a la gravedad y gradiente de tensión de humedad.

5. 3. 3. Fuerzas de retención.

Dos fuerzas influyen en la retención de humedad por los suelos. Una es la atracción a través del área superficie de las partículas minerales (adherencia). La otra es la atracción de las moléculas de agua entre sí (cohesión). Por la adherencia, los sólidos retienen las moléculas de agua rígidamente en los microporos. Estas moléculas, a su vez, retienen por cohesión otras moléculas de agua. Ambas fuerzas juntamente hacen

posible que los sólidos del suelo retengan agua y controlen en alto grado su movimiento y su utilización. Además, acentúan que esta energía actúe en las relaciones suelo agua y hacen que la tensión con que el agua está retenida varíe con la distancia de las moléculas a los sólidos del suelo.

Las características de suelos, de poder almacenar el agua, se denomina capacidad de retención, varía según al tamaño de sus constituyentes (textura) y el grado de compactación del suelo. El agua disponible en el suelo para la raíz de planta está comprendida entre la capacidad de campo (0.3 atm) y el punto de marchitez permanente (15 atm) (Caras, 1993).

Capacidad de Campo.

La capacidad de campo se define como la cantidad de agua que un suelo retiene en contra de las fuerza de gravedad cuando se le deja drenar libremente. Asimismo, la tensión de humedad de un suelo que ha alcanzado la capacidad de campo en el suelo está comprendida entre 1/10 y 1/3 de atmósfera. En un suelo bien drenado, por lo general se llega a este punto aproximadamente 48 horas después del riego.

Debido al sistema dinámico del agua en el suelo, la capacidad de campo no es un valor único del suelo. No puede determinarse con precisión debido a que no existe en el tiempo discontinuidad en la curva de humedad, sin embargo, este concepto es de gran utilidad para la estimación de la cantidad de agua contenida en el suelo, de la que puede disponer las plantas (Rodríguez, 2002).

Punto de Marchitez Permanente.

El punto de marchitez permanente se puede definir como el límite más bajo de almacenamiento de agua del suelo para el crecimiento de las plantas, que esta en función de las mismas plantas. El punto de marchitez permanente (PMP) se presenta entre 10 y 20 atmósferas; cuando el intervalo en cuanto a fuerza de tensión es grande, la diferencia de humedad es mínima. (Aguilera 1980., Rodríguez, 2002)

5. 4. RIEGO.

5. 4. 1. El agua de riego.

En México el método de riego que más se utiliza a nivel parcelario es el riego por superficie, con 5.4 millones de hectáreas (CENID-RASPA 1999); el sistema de distribución de agua con tubería de baja presión por multicompuertas se considera dentro del riego por superficie, el cual en los últimos años a adquirido gran auge debido a que los costos de inversión, operación y mantenimiento son mucho más bajos que los sistemas de riego presurizados (aspersión y goteo); en la actualidad se tiene bajo este sistema una superficie aproximada de 600 mil hectáreas en la Región Lagunera.

En la mayoría de los estudios realizados en lo que respecta a la eficiencia de uso de agua de riego, se reportan problemas de exceso y déficit de agua, cuantificados por índices de eficiencia que difícilmente superan el 60 por ciento, a pesar de que, según evidencias experimentales, es posible lograr niveles de eficiencia superiores a un 90 por ciento mediante un buen diseño y manejo del riego (García, 1999).

5. 4. 2. Aplicación de agua al suelo con carga hidráulica.

Riego por superficie. En el riego por superficie se produce mayor porcentaje de pérdida de agua que en otros sistemas de riego. Pero se puede conseguir alta eficiencia cuando el agua se aplica con criterios racionales previamente estudiados.

La superficie regada por gravedad en el mundo (Fuentes y García, 1999), representa el mayor porcentaje de superficie bajo riego, y no parece previsible que se reduzca, si no más bien que se implemente en nuevas zonas donde se dan condiciones topográficas favorables, ya que este sistema de riego requiere de poca inversión inicial, en comparación con otros sistemas, salvo en caso de terrenos ondulados que exigen grandes movimientos de tierra.

Aparte de los programas de computadora para el diseño de unidades de riego, los avances técnicos más notables en riego por superficie son los siguientes: Nivelación con rayo láser, riego intermitente o por impulsos, automatización del riego y reutilización del agua de escurrimiento superficial (Fuentes y García, 1999).

5. 4. 3. Aplicación de agua al suelo sin carga hidráulica.

Riego por Aspersión.- Son métodos que simulan el aporte de agua que realiza la lluvia. Consiste en distribuir el agua por tuberías a presión y aplicarla a través de aspersores en forma de lluvia. Se busca aplicar una lámina que sea capaz de infiltrarse en el suelo sin producir escurrimiento. Para ello el equipo debe estar diseñado en función de tipo de suelo, condición climática (vientos) y su capacidad de infiltración, de esta manera se obtiene una lámina óptima y uniforme lo que permite un mejor aprovechamiento de este recurso hídrico.

Las prácticas de riego racionales buscan reponer en el momento adecuado la humedad en el suelo y facilitar la extracción de este recurso por las raíces. Bajo este concepto podemos definir la capacidad de almacenamiento del suelo importante para cualquier sistema presurizado de riego, que considera la cantidad de agua, evaporada, infiltrada, retenida y de escorrentía que no logre ser adsorbida por las partículas minerales del suelo y estar en disponibilidad para la raíz del cultivo.

Riego por goteo (localizado). El riego localizado consiste en aportar agua en una zona de menor volumen del suelo y que habitualmente acopian las raíces.

Sus características principales son:

- No se moja la totalidad del suelo.
- Se utilizan pequeños caudales a baja presión.
- El agua se aplica con alta frecuencia.

La localización del agua en la proximidad de las plantas se manifiesta en que se modifican algunas características de las relaciones suelo-agua-planta, tales como:

reducción de la evaporación, distribución del sistema radical, régimen de salinidad, etc. La alta frecuencia de aplicación del agua implica importantes consecuencias sobre su aprovechamiento, ya que al estar siempre el suelo a la capacidad de campo o muy próximo a ella, las plantas absorben el agua con mucha facilidad.

El agua se aplica mediante emisores que la depositan en suelo gota a gota o mediante flujo continuo, con un caudal inferior a 16 litros/hora por punto de emisión o por metro lineal de manguera de goteo (Fuentes y García, 1999).

5. 5. LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA A SATURACIÓN.

La conductividad hidráulica a saturación (flujo permanente) se define como la capacidad máxima que presenta un suelo al paso de agua y se calcula a partir de una ecuación monofásica, es decir considera únicamente el movimiento gravitacional del agua por los espacios vacíos del suelo y se representa por la ley de Darcy (1800) a través del flujo unitario del agua entre el gradiente hidráulico.

Por su parte la conductividad hidráulica (flujo transitorio) se define como la capacidad real que presenta un suelo al paso del agua y se cuantifica mediante una ecuación bifásica (González, 2002), es decir considera el movimiento del agua y la importancia del aire al interior de los espacios vacíos del suelo y se representa por las ecuaciones de Philip; Reynolds; Green et Ampt (1911).

El flujo permanente y transitorio depende de tipo de textura, fluidez del agua y contenido de humedad del suelo; son directamente proporcionales al número de poros (tamaño, forma y continuidad) que conducirán agua y sobre todo aquellos poros preferenciales por el agua.

La conductividad hidráulica puede medirse en cilindros de suelo secado en campo y llevados al laboratorio, o puede medirse en campo en la parte inferior de la capa freática, todos los métodos requieren que se mida el agua que fluye, el tiempo de flujo y el área en donde tiene lugar el flujo (Gavande, 1979). También menciona que se han propuesto varios métodos y técnicas para medir dicha propiedad, sin necesidad de llevar muestras al laboratorio, siendo el más simple el que consiste el sacar el agua de un hueco hecho con barreno y observar la velocidad con que sube el nivel del agua dentro del hueco. La profundidad del nivel del agua en el hueco se puede medir con varios métodos; un simple flotador con una varilla y un indicador en ella que marque en una escala (metro de regla) en la superficie del suelo.

La conductividad hidráulica puede medirse en laboratorio sobre los núcleos extraídos del campo no alterados o sobre muestras de suelo reconstruidas, aplicando

una carga fija de agua y se mide el flujo después de la saturación (**Baver, et al, 1972**). El gradiente hidráulico es la diferencia de carga hidrostática entre las cargas de entrada de salida del núcleo dividida por la longitud del núcleo.

La conductividad hidráulica se clasifica como la razón entre la velocidad del flujo y la fuerza impulsora, en el flujo viscoso, en condiciones saturadas de un líquido específico en un medio poroso (**FitzPatrick, 1984**).

La infiltración se refiere a la entrada descendente o movimiento del agua a través de la superficie del suelo, y que algunos factores que influyen sobre ella son: una superficie compacta, el impacto de la lluvia (que a menudo causa el sellado y el cerrado de los poros), las superficies de suelo con capa vegetal tienen más velocidad de infiltración que los suelos desnudos, los suelos cálidos absorben más agua que los fríos, en los suelos arcillosos, el agrietamiento producido por el secado también aumentan la infiltración, en las etapas iniciales, hasta que el suelo se hincha de nuevo y la infiltración disminuye (**Thamane, et al, 1978**).

También menciona, que la infiltración es una condición dinámica muy variable de suelo y que puede controlarse bastante bien por medio de prácticas de cultivo, materia orgánica gruesa, capas de paja y estiércol sobre el suelo que son muy eficaces para aumentar el movimiento del agua dentro del suelo.

La infiltración como la penetración del agua en el suelo (**Ortiz, 1983**), y que los efectos principales que controlan la magnitud del agua en la infiltración son:

- 1.- Porcentaje de arena, limo y arcilla del suelo. Las arenas gruesas favorecen el incremento de la infiltración.
- 2.- Estructura del suelo. Suelos con grandes agregados estables en agua tienen proporciones de infiltración más alta.

3.- Cantidad de materia orgánica en el suelo. Altas proporciones de materia orgánica sin descomponer propician que una mayor cantidad de agua entre al suelo.

4.- Profundidad del suelo a un "hardpan" lecho rocoso u otras capas permeables influyen la infiltración. Los suelos delgados almacenan menos agua que los suelos profundos.

5.- Cantidad de agua en el suelo. En general los suelos mojados tienen menor infiltración que los suelos secos.

6.- Temperatura del suelo. Los suelos calientes permiten mayor infiltración de agua que los suelos fríos.

También da una clasificación de la magnitud de la infiltración y es la siguiente:

a).- Muy lenta. Con capacidad menor de 0.25 cm de lamina de agua por hora. Aquí se encuentran los suelos con un alto contenido de arcilla.

b).- Lenta.- la infiltración es de 0.25 a 1.75 cm/hr., la mayoría de los suelos en este grupo son migajones arenosos o migajones limosos.

c).- Rápida.- infiltración mayor de 0.25 de lamina de agua por hora. Arenas y migajones limosos profundos y de buena agregación están en este grupo.

5. 6. MODELOS Y ECUACIONES PARA CALCULAR EL FLUJO PERMANENTE Y TRANSITORIO.

5. 6. 1. Flujo permanente.

Darcy en 1800.

$$Q = -KA (dh/dl).$$

Donde:

Q = volumen de agua.

K = conductividad hidráulica.

A = área de sección transversal.

dh/dl = gradiente hidráulico.

Kostiakov en 1932, desarrolló una ecuación (Gavande, 1979) para conocer la velocidad de infiltración de un suelo. Donde la velocidad de infiltración se sitúa en una escala logarítmica en ordenadas y tiempo en abscisas. La curva puede ser una línea recta, que puede presentarse por la siguiente ecuación:

$$I = a t^n$$

Donde:

t = tiempo

a,n = parámetros que dependen del suelo y de su condición física.

a; representa la cantidad de infiltración durante el intervalo inicial y depende de la estructura y condición del suelo en el momento en se aplica el agua.

n; indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo.

5. 6. 2. Flujo Transitorio.

Tiempo más tarde el mismo **Kostiakov** propuso un modelo que contempla la infiltración básica y que es conocido como ecuación del **USDA**, y que se representa de la siguiente manera:

$$I = K t^n + B$$

Donde:

I = velocidad de infiltración (LT-1) en cm hr^{-1} , día^{-1} , mm hr^{-1}

t = tiempo de infiltración (T) en min o en hr.

K = parámetro que representa la cantidad de infiltración durante el intervalo inicial, expresada en $\text{mm min}^{-(1+n)}$ o $\text{mm hr}^{-(1+n)}$

n = exponente adimensional, indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo. Es siempre negativo con valores que varía entre 0 y -1.0.

B = infiltración básica.

Philip en 1954, describió una teoría de infiltración y, en base a ella, propuso la siguiente ecuación:

$$I = \frac{1}{2} S t^{-0.5} + C$$

Donde:

I = velocidad de infiltración expresada en cm / hr .

S = indica la capacidad de un suelo homogéneo para absorber o liberar agua.

t = tiempo de infiltración en minutos.

C = según Gavande, depende de la conductividad hidráulica del suelo.

Horton en 1950, propuso la siguiente ecuación para determinar la velocidad de infiltración.

$$I = I_B + (I_o - I_B) e^{-kt}$$

Donde:

I = velocidad de infiltración en cm / hr.

I_B = velocidad final de infiltración.

I_o = velocidad inicial de infiltración.

e = base de los logaritmos naturales.

k = constante adimensional.

t = tiempo de infiltración en horas.

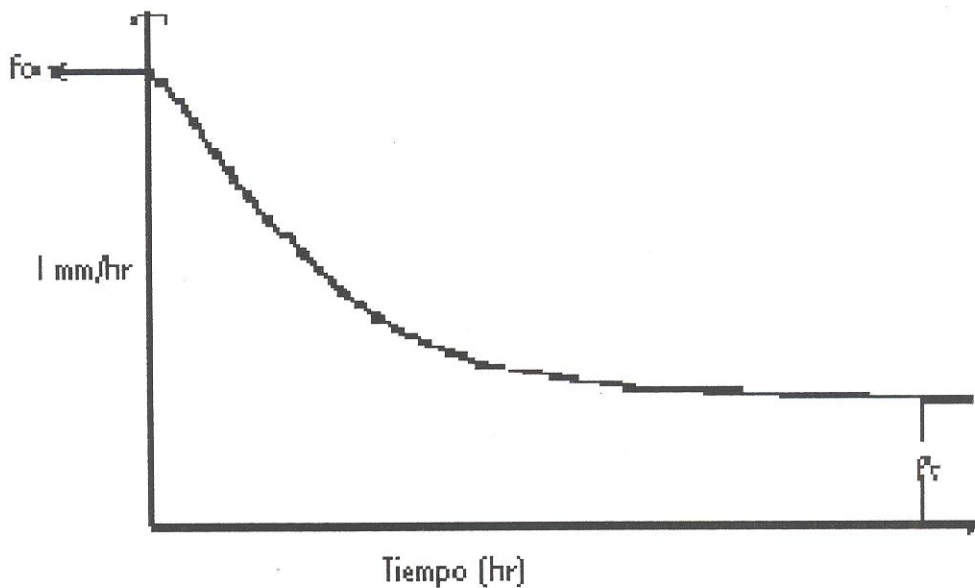


Figura 1. Infiltración según Horton.

Green et Ampt en 1911, propusieron una ecuación para la capacidad de infiltración de un suelo basada en una ecuación bifásica, que tiene la forma siguiente:

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

Donde:

$i(t)$ = velocidad de infiltración

K_s = conductividad hidráulica a saturación

H_o = carga hidráulica a la superficie del suelo

H_f = presión capilar efectiva

θ_s = humedad volumétrica del suelo a saturación

θ_i = humedad volumétrica inicial del suelo

$l(t)$ = representa la lamina de agua infiltrada.

5.7. DISPOSITIVOS PARA OBTENER DATOS DE FLUJO PERMANENTE Y TRANSITORIO EN CAMPO.

Infiltrómetro de disco a tensión descrito por Perroux y White (1988), está siendo ampliamente usado para determinar propiedades hidráulicas "*in situ*" de suelos saturados o cercanos a la saturación (Clothier y White, 1981, Wilson y Luxmoore, 1988, Smettem *et al.*, 1995).

Este instrumento permite identificar en términos cuantitativos la contribución relativa de algunos de los parámetros hidrodinámicos fundamentales de los que depende el caudal de agua infiltrada, seleccionando determinado rango de presión durante la aplicación de agua. Es una técnica no destructiva, que no modifica el suelo ni su porosidad y la medición es expeditiva, ya que el flujo en estado casi estacionario es alcanzado rápidamente. En este caso, la infiltración de agua en un suelo no saturado en condiciones de estado estacionario refleja las características de la red de poros, formada por yuxtaposición de partículas sólidas y elementos estructurales (Taboada Castro *et al.*, 1998). Algunas de las propiedades hidráulicas de suelo más importantes, que permiten cuantificar el tamaño, la distribución y la continuidad de la red de poros son: la conductividad hidráulica a saturación, la relación entre potencial mátrico y contenido hídrico y la sortividad del suelo; todas ellas están interrelacionadas y pueden ser evaluadas a partir de esta técnica, en donde el flujo es no confinado y se elimina el disturbio estructural provocado por cilindros, como así también la posible modificación de la estructura superficial por el impacto de la gota de lluvia (Smettem y Clothier, 1989).

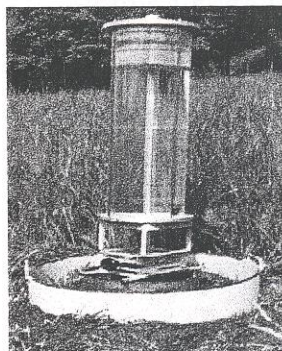


Figura 2. Infiltrómetro de disco a Tensión.

El **permeámetro Guelph** (Reynolds y Elrick 1985, 1986), se utiliza para medir en el campo en zona insaturada la conductividad hidráulica saturada de campo (K_{sat}) y el potencial de flujo mátrico (ϕ_m), a diferentes profundidades. Este método mide el flujo de recarga necesario para mantener una profundidad constante de agua en un pozo cilíndrico realizado por encima del nivel freático. Utilizando el principio de Mariotte para establecer y mantener el nivel de agua y medir la recarga correspondiente.

El proceso de infiltración en un suelo no saturado es un proceso tridimensional que debería alcanzar el flujo permanente rápidamente y dentro de la región húmeda (Philip, 1969). En el permeámetro de carga constante el flujo hacia el exterior del pozo se asume que es permanente y el suelo que lo rodea uniforme, isotrópico, saturado y poroso (Xiang, 1994).

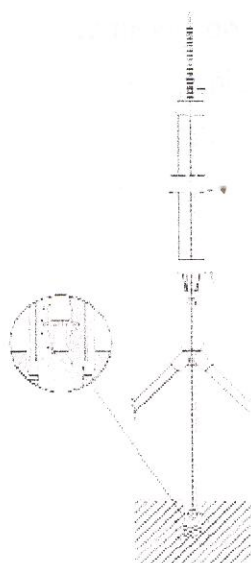


Figura 3. Permeámetro Guelph.

Método de Múntz modificado, de infiltración vertical de carga constante utiliza un doble cilindro y una regulación semiautomática de la descarga de agua.

Desde Múntz, Faure y Laine, inventores del método, diversos investigadores han retomado, modificado y mejorado el primer dispositivo, se han estandarizado para evitar grandes diferencias en los resultados. Las principales características del aparato son: la carga de agua constante sobre el suelo, profundidad para el funcionamiento de los

bordes del infiltrómetro en el suelo, diámetro de la superficie de medición, diámetro del cilindro exterior. En lo que concierne a las dos primeras características, algunas que ya se adoptaron en otra ocasión por Müntz: carga de agua de 3 a 6 centímetros sobre el suelo, profundidad de funcionamiento de los cilindros de 6 a 10 cm. el cilindro exterior 310 mm es muy importante para obtener a la salida de la superficie de medición líneas de corriente sensiblemente verticales en el cilindro interior cuyo diámetro es de 110 mm.

Mediciones en suelos permeables.

Se refiere a suelos en que el coeficiente de permeabilidad K está por ejemplo en el orden de $150 \cdot 10^{-6}$ a $200 \cdot 10^{-6}$ m/s. En este caso la descarga es suficientemente elevada para obtener, regulando la admisión de aire, una descarga de agua continua. Se procede entonces a la medición de las profundidades de agua en el índice de depósito total los 30 segundos o todos los minutos por ejemplo. La medición prosigue hasta que se obtiene una velocidad de infiltración constante. Se reportan los puntos de medición en una gráfica y así es fácil trazar el comportamiento de la permeabilidad.

Medición en suelos relativamente poco permeables.

Se refiere a suelos en que el coeficiente de permeabilidad K es, por ejemplo, inferior a $50 \cdot 10^{-6}$ m/s. No se indica el límite exacto porque el límite experimental coincide con la posibilidad de obtener un flujo permanente o no.

Duración de la medición.

La duración de la medición es variable: en un suelo muy permeable, se obtiene una velocidad de infiltración estable en 30 a 40 minutos.

En un suelo menos permeable, la duración de la operación aumenta y puede demorar de una a dos horas. En el caso de un suelo muy impermeable, se puede prolongar la operación una hora o más.

5. 8. CURVA DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.

La infiltración es la penetración vertical y lenta de agua a través de la geometría del espacio poroso del suelo. La infiltración no es constante, disminuye conforme aumenta la cantidad de agua en el suelo, siendo su valor máximo al comienzo de la aplicación del agua; entonces depende principalmente de la carga y tiempo.

La curva de velocidad de infiltración, es la relación entre la lamina que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, generalmente se expresa en cm/hr o en cm/min.

La velocidad de infiltración depende de varios factores, tales como: textura, estructura, compactación de suelo, contenido de humedad de suelo, lamina de riego o de lluvia, temperatura del agua o del suelo, estratificación, agregación, actividades microbianas, presencia de sales y aire atrapado, etc. (Caras, 1993).

Valores de K inferiores a 0.04 cm/h indican suelos u horizontes fuertemente impermeables. Si esta constante no alcanza el valor de 0.2 cm/h hablamos de horizontes o suelos poco permeables. Los consideramos permeables cuando se supera el valor anterior pero no se rebasa el de 2 cm/hora, superado el cual los consideramos como muy permeables. Valores por encima de 5 cm/h deben considerarse como muy permeables.

La conductividad hidráulica puede medirse directamente o indirectamente laboratorio.

5. 9. CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD.

La capacidad del suelo para retener el agua, difiere considerablemente. Los suelos de textura fina retienen una mayor cantidad de agua que los de textura gruesa. A mayor agregación, mayor será la cantidad de agua retenida; y pueden hacerse curvas de tensión de humedad que relacionan la tensión con el contenido de humedad del suelo. La humedad que se retiene a diferentes tensiones es mayor, si aumenta el número de partículas finas (Thamane, et al, 1983)

Baver (1980), menciona que Haries (1930), desarrollo el concepto de retención de humedad y su movimiento en un suelo, en base a la fuerza de succión necesaria para mover la interfase aire-agua a través de los poros del suelo. Además encontró que existen diferencias entre la curva de secado y humedecimiento, asociado con las variaciones del potencial hídrico, el cual dificulta el uso del contenido de humedad para medir el potencial de agua aprovechable.

La lámina de agua disponible para las plantas o humedad aprovechable (diferencia entre capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente) en un espesor del suelo, se obtiene por la siguiente ecuación:

$$Lr = ((cc - pmp) * 100) * Da . Pr$$

Donde:

cc = capacidad de campo (%)

pmp = porcentaje de marchitamiento permanente (%)

Da = densidad aparente (gr/cm^3)

Pr = espesor del suelo (cm)

Lr = lamina de agua disponible (cm)

A medida que disminuye la disponibilidad de agua en el suelo, aumenta el esfuerzo que la planta requiere para absorber agua, la curva de retención de humedad o curva característica de humedad en el suelo. Relaciona el contenido hídrico (P_s %) con la succión matriz o tensión de la humedad (T). La tensión crece logarítmicamente al disminuir aritméticamente el contenido hídrico.

VI. MATERIALES Y METODOS.

6.1. La Comarca Lagunera.

La Comarca Lagunera se localiza en el altiplano central al norte de México cuya altitud es de 1,100 metros y esta limitado al oeste por la sierra madre Occidental, donde la altitud varia de 2,000 a 3,200 metros, al este por la sierra madre oriental, cuya altitud varia de 1,800 a 2,500 metros. Estas barreras orográficas determinan el clima árido y semiárido que predominan en la Comarca lagunera, por ello cobra especial importancia el buen uso y manejo del agua de riego para la producción agrícola, tal es el caso del nogal pecanero.

6.2. Localización.

La Comarca lagunera (Figura 4) se localiza en el altiplano central de coordenadas geográficas; entre los meridianos $102^{\circ} 30'$ y $104^{\circ} 48'$ de longitud Oeste y los paralelos $24^{\circ} 25'$ y $26^{\circ} 55'$ de latitud Norte. Cuya altitud es de 1,139 msnm.

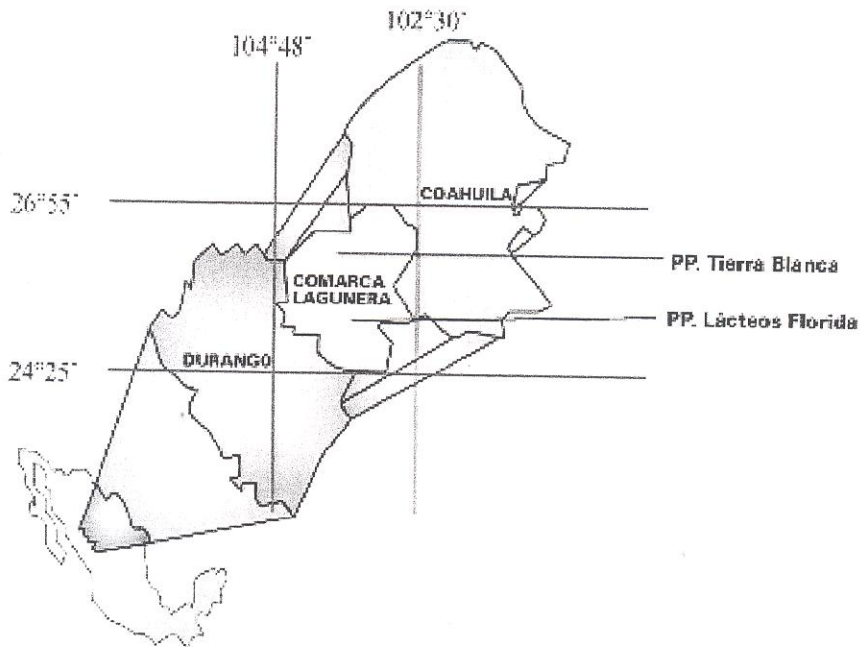


Figura 4. Localización de la Comarca Lagunera en el altiplano central.

6. 3. El clima.

La Comarca Lagunera en su conjunto presenta una precipitación media anual de 253 mm anuales, apenas el 31% de la precipitación media nacional (777 mm) y una temperatura máxima en los últimos 10 años de 28.8 °C., una mínima de 11.68 °C y una temperatura media de 19.98 °C, con una evaporación potencial de 1,551 milímetros anuales, lo que clasifica su clima como seco templado.

6. 4. Cultivos.

En el cuadro 2 se presentan los porcentajes de cultivos en la zona de la Comarca Lagunera, siendo estos variables en superficie y en función de la cantidad de agua almacenada en las presas Francisco Zarco y Lázaro Cárdenas. Este cuadro permite diferenciar los cultivos por orden de importancia así para cultivos anuales resaltan el maíz, trigo y algodón para los semiperennes, alfalfa y nogal pecanero para los perennes. La Laguna adquiere gran importancia en los cultivos forrajeros para cría de ganado bovino para abasto lechero y producción de carne. La ganadería representa una fuente de ingresos importantes, ya que se exporta ganado en pie, en canal y carne industrializada a Estados Unidos, además de abastecer la demanda del mercado nacional.

Cuadro 2. Cultivos en la Región Lagunera ciclo agrícola Otoño-Invierno1999-2000, Primavera-Verano y Perennes 2000 (SAGARPA, 2000).

Cultivo	Bombeo	Gravedad	Temporal	Total
<i>Otoño-Invierno '99-00</i>	has.	has.	has.	has.
Trigo	1,003	18	29	1,050
Cartamo	190		16	206
Avena forrajera	4,933	350	54	5,237
Zacate ballico	2,707	101		2,808
Hortalizas	368	27		395
Otros	1,041	1		1,042
<i>Primavera-Verano '00</i>				
Algodón	602	7,681		8,283
Sorgo escobero	2,313	6,052	1,196	9,561
Maíz grano	1,005	5,250	4,992	11,247
Frijol	194	2,469	1,603	4,266
Sorgo grano	122	422	737	1,281
Maíz grano	8,066	7,067	7	15,140
Sorgo forrajero	6,012	4,846	86	10,944
Zacate sudán	14	9		23
Melón	3,193	1,184		4,377
Sandía	944	1,010		1,954
Tomate rojo	303	200		503
Chile	342	767		1,109
Hortalizas	57	15	42	114
Cacahuete	2	217	99	318
Otros		45		45
<i>Perennes '00</i>				
Alfalfa	31,906	4,924		36,830
Nogal (producción)	3,397	1,620		5,017
Frutales	43	8	20	71
Otros	19	4	175	198

6. 5. Eficiencia de aplicación del riego.

El Distrito de Riego 017 localizado en la subregión Comarca Lagunera - Parras y el 034 localizado en la subregión Aguanaval, cuentan en conjunto con 230 mil Ha. dominadas, con una eficiencia de riego del 35%. Los pozos de las unidades de riego y particulares son 11,100 y extraen el 81% de la extracción total del agua subterránea, estimando que la eficiencia de riego es de un 50%.

6. 6. El nogal pecanero y huertas seleccionadas.

De los cultivos en la Comarca Lagunera, el nogal pecanero es el segundo en importancia precedido por la alfalfa, en ese sentido se seleccionaron dos huertos ubicados en la Comarca Lagunera del estado de Coahuila, una ubicada a la carretera federal a San Pedro de las Colonias en el km 32 de nombre P.P. Lácteos Florida (Figura 5a), la otra situada en Mieleras municipio de Matamoros al sur de la Comarca de nombre P.P. Tierra Blanca (Figura 5b).



Figura 5a. huerto Lácteos Florida



Figura 5b. Huerto Tierra Blanca

6. 7. Características de manejo de los huertos.

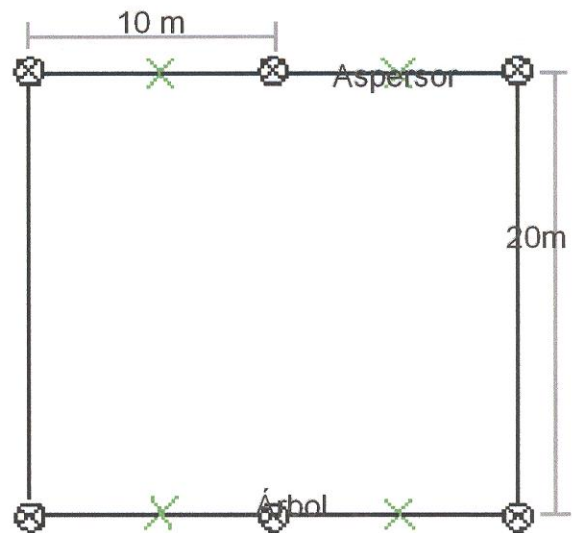
6. 7. 1. Lácteos Florida.

El nogal pecanero tiene 30 años de establecido en esta propiedad y se le considera al nogal pecanero (*Carya illinoensis*, Koch); segundo cultivo, se tiene como prioridad los cultivos forrajeros fuente de alimento del ganado lechero.

La aportación de agua al cultivo se lleva a cabo con un sistema de riego por Aspersión, con una separación entre aspersores de 10 x 20 al igual que la plantación de los árboles del nogal (Figura 6b). Teniendo este método de riego 6 años de establecido. El manejo de suelo es de labranza de mínima (figura 6a) con tráfico de vehículos y maquinaria para la aplicación de insecticidas y fertilizantes foliares, se mantiene una cubierta vegetal, la cual se deshierba cada que esta tiene entre 20 a 30 cm de altura.



6a) Labranza mínima



6b) Riego por Aspersión.

6. 7. 2. Tierra Blanca.

La antigüedad del huerto es de 60 años, la forma de aplicar el agua al cultivo es mediante el método de riego por gravedad (multicompuestas) (Figura 7a). Los trabajos agrícolas al terrenos de cultivo; es utilizando el método de labranza intensiva (figura 7b), realizando las labores de rastreo, bordeo y paso de escropa, cada mes a partir de febrero hasta diciembre durante 60 años.



Figura 7a. Riego por gravedad.



Figura 7b. Manejo intensivo del suelo

6. 8. Sitios de muestreo.

En cada huerto se selecciono una hectárea para el estudio del suelo mediante la descripción de dos perfiles de suelo (figura 8) y seleccionar los horizontes o capas mediante su caracterización física como la compactación, densidad aparente, y permeabilidad. Para ello, se seleccionaron dos puntos de muestreo en dirección a la pendiente del riego y por la zona de mayor tráfico por la maquinaria, de manera que la zona de muestreo, queden situados aproximadamente a 3 m de distancia del tronco del árbol de nogal.



Figura 8. Descripción del suelo mediante el perfil.

La descripción de los perfiles permitió definir las capas u horizontes sobre los cuales se realizaron mediciones físicas como la densidad aparente con la barrena de volumen conocido, compactación con el penetrómetro de cono y permeabilidad mediante el método de Múntz modificado (figura 9).



Figura 9. Método de Múntz modificado para medir permeabilidad.

Las pruebas de permeabilidad y toma de datos en el área de estudio, se realizaron de la manera siguiente:

- 1.- Los primeros muestreos se realizaron en la capa superficial 0 m de profundidad.
- 2.- Se excavó un pozo de 3 x 1.5 m con una profundidad de 1.5 m, con la finalidad de apreciar y describir las diferentes capas del perfil de suelo. De acuerdo al espesor de cada capa, se realizaron pruebas de conductividad hidráulica (*in situ*) por el método de doble cilindro de Múntz modificado a carga constante. En forma escalonada en el pozo, dependiendo del espesor de cada capa del perfil de suelo en el punto de muestreo.

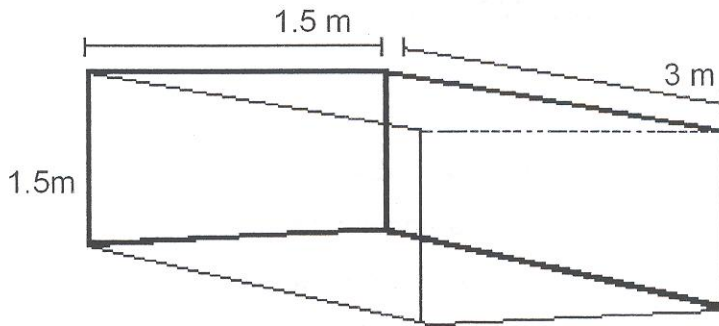


Figura 10. Dimensiones del pozo de estudio.

3.- Se tomaron datos de propiedades físicas de suelo, además de muestrear las diferentes capas para determinar en laboratorio las características físicas y químicas del suelo, en los dos huertos de sistemas de manejo diferente.

Cuadro 3. Metodología para cuantificar las características físicas y químicas del suelo.

Características del suelo	Metodología
Densidad aparente	Volumen conocido
Compactación del suelo	Penetrómetro
Conductividad hidráulica a saturación	Permeámetro a carga constante
Textura	Hidrómetro de bouyoucos
Capacidad de retención de humedad	Olla y membrana de presión
Materia orgánica	Combustión en húmedo
pH, CE, CO ₃ , NO ₃ , P, K y Relación C/N	Técnicas estándares de laboratorio

VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

El presente trabajo de investigación se enfocó a cuantificar las características físicas y químicas del suelo, que intervienen en el movimiento unidimensional del agua mediante el flujo permanente y que pueden ser modificadas por el sistema de manejo del suelo que utilice el productor, lo anterior permitió para esta investigación considerar un sistema de manejo del suelo intensivo caso huerto **Tierra Blanca** y de conservación caso huerto **Florida**. A continuación se presentan los resultados de los diferentes análisis y mediciones que se realizaron para dar respuesta a nuestro objetivo. Encontrándose los siguientes resultados.

7. 1. Análisis físico y químico de los horizontes del suelo.

Posterior a la descripción del perfil del suelo en la huerta **Lácteos Florida** se delimitaron 3 estratos u horizontes de suelo donde se obtuvieron las muestras de suelo y se realizaron las mediciones físicas *in situ*.



Figura 11. Perfil del suelo de la Huerta Lácteos Florida.

En el Cuadro 4 se presentan los resultados de análisis de textura, materia orgánica y pH de los estratos identificadas en el perfil del suelo de la huerta **Lácteos Florida** y analizados en el laboratorio del CENID-RASPA.

De acuerdo a los porcentajes de los minerales presentes en las muestras de suelo (Cuadro 4) se determina una clase textural de arcilloso de 0 a 50 cm de profundidad y de arcilla de 50 a 100 cm de profundidad (Anexo A1), esta textura es de origen aluvial producto de la transportación de las arcillas suspendidas en las aguas exógenas del río nazas y depositadas en estos sitios. En relación a la materia orgánica (Cuadro 4) los contenidos varían de 4.6 % en superficie y disminuye a 2.3% a 20 cm de profundidad, sin embargo aun en esta capa se clasifica rica en materia orgánica y decrece hasta 0.8 % a 40 cm de profundidad, estos contenidos orgánicos en el suelo obedecen a la descomposición e integración de la vegetación en la superficie del suelo que continuamente son incorporados debido al sistema de manejo del suelo que se viene realizando durante 10 años de forma continua mediante la no roturación del suelo y el dejar la cubierta vegetal en la superficie del suelo. Por su parte el pH del suelo varía de 8.6 en superficie a 8.3 en profundidad, suelo clasificado como alcalino.

Cuadro 4. Clase textural, M.O y pH del huerto Lácteos Florida (2003).

Profundidad (cm)	Textura	M.O %	pH
0 – 20	Arcilla	4.59	8.6
20 – 40	Arcilla	2.33	8.5
40 -100	Arcilla	0.82	8.3

En **Tierra Blanca** y posterior a la descripción del perfil se delimitaron 4 estratos u horizontes del suelo para la obtención de muestras y su análisis en laboratorio.



Figura 12. Perfil del suelo de la Huerta Tierra Blanca.

En el siguiente Cuadro 5 se muestran los resultados del análisis de textura, materia orgánica y pH de los horizontes del suelo estudiado en la huerta **Tierra Blanca**. El perfil analizado reporta; suelos francos de 0 a 40 cm, franco arenoso de 40 a 130 cm de profundidad (anexo A2), en estos suelos los altos porcentajes de arena y carbonato son producto de la intemperización de rocas calizas y eruptivas, minerales que al ser transportados por las aguas exógenas del río aguanaval dan origen a estos suelos. En relación a la materia orgánica se reportan valores que varían de 3% en superficie, enseguida disminuye hasta 0.6% a 13 cm de profundidad y 0.20% a 130 cm. Resalta la acumulación de materia orgánica en superficie (0 a 13 cm) debido a que en los últimos tres años se dejó la cubierta vegetal como recomendación de estudios precedentes realizados en el Cenid-Raspa, sin embargo se constata que a partir de los 13 cm los valores disminuyen por efecto del sistema de labranza y utilización de implementos agrícolas (rastra y bordeadora) durante más de 50 años. Por su parte el pH varía de 8.7 próximo a la superficie hasta 8.3 en profundidad, estos suelos son considerados alcalinos debido a los carbonatos presentes en el suelo (anexo A2).

Cuadro 5. Clase textural, M.O y pH del huerto Tierra Blanca (2003).

Profundidad (cm)	Textura	M.O %	pH
0 – 13	Franco	3	8.3
13 – 40	Franco	0.6	8.7
40 -130	Franco Arenoso	0.4	8.4
130 – 140	Franco Limoso	0.20	8.3

El análisis físico y químico de suelo para las dos huertas indican diferencias a nivel textura producto de la génesis de los suelos y en la acumulación de materia orgánica debido al sistema de manejo de suelo, mientras que Florida establece una cubierta vegetal durante mas de 10 años y no se rotura el suelo, en Tierra Blanca esta practica apenas alcanza los 3 años y se rotura el suelo, por ello el presente estudio versará sobre otros parámetros físicos como la densidad aparente (ρ_d) y la resistencia a la penetración (R_p) que opone el suelo para los mismos estratos u horizontes anteriormente establecidas.

7. 2. Densidad aparente en seco y resistencia a la penetración.

La medición de la densidad aparente (ρ_d) se realizó utilizando la barrena de volumen conocido (131 cm^3), y se representa por la relación de la masa del suelo seco sobre el volumen que ocupa ese suelo sea:

$$\rho_d = M_s / V \quad (1)$$

Donde:

M_s = masa del suelo seco.

V = volumen del cilindro.

La resistencia a la penetración (R_p) es un índice que depende de la compactación del suelo, el contenido de humedad, textura y minerales que constituyen el suelo. Estas mediciones se realizaron con el pentrometro Dichey-Jonh con un cono de ángulo de 30° bajo una presión máxima de 21 kg/cm^2 (Figura 13).

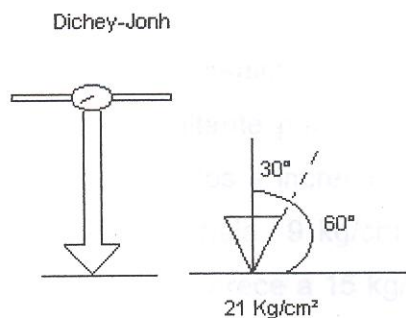


Figura 13. Pentrometro Dichey-Jonh.

En el cuadro 6 se presentan los valores de p_d y R_p para los diferentes horizontes o estratos del suelo de la huerta **Lácteos Florida**. Este cuadro muestra una mínima variación de la p_d en el perfil de suelo de 1.3 gr/cm^3 en superficie a 1.2 gr/cm^3 en profundidad, lo que indica que valores reducidos de la p_d se consideran no limitantes para el funcionamiento radical del cultivo y el movimiento del agua en ese horizonte.

En relación a los valores de R_p estos varían de 6 kg/cm^2 en superficie a 5 kg/cm^2 en profundidad con un contenido de humedad de suelo de 25% al momento de la toma de datos. Los valores de p_d y R_p constatan el beneficio del sistema de manejo del suelo utilizado en los últimos 10 años en esta huerta, ya que no se encontró una capa compacta.

Cuadro 6. Valores de p_d y R_p en la huerta Lácteos Florida (2003).

Profundidad (cm)	p_d (gr/cm^3)	R_p (kg/cm^2)
0 – 20	1.3	6
20 – 40	1.2	6
40 -100	1.2	5

Por su parte los valores de p_d y R_p para diferentes capas de suelo de la huerta **Tierra Blanca** (Cuadro 7) muestran una variación de la p_d de 1.4 gr/cm^3 en superficie,

se incrementa a 1.6 gr/cm^3 , a 13 cm de profundidad y disminuye a 1.4 gr/cm^3 en la profundidad de 130 cm, en esta huerta resalta el valor de p_d 1.6 gr/cm^3 , ya que en la literatura ese valor se reporta como limitante para el crecimiento radical y movimiento del agua debido a reducción de los vacíos e incremento del material mineral para esa capa u horizonte. Por su lado la R_p señala 9 kg/cm^2 en la superficie enseguida se incrementa hasta 18 kg/cm^2 a 13 cm y decrece a 15 kg/cm^2 , a 40 cm y se incrementa a 19 kg/cm^2 a 140 cm de profundidad con un contenido de humedad de 15% al momento de toma de datos. En la literatura se reporta que valores de R_p superiores a 15 kg/cm^2 afectan la distribución y crecimiento de raíz en los diferentes horizontes del suelo, por lo anterior en Tierra blanca se ubican dos capas compactas una próxima a la superficie 13 cm de profundidad con valores de p_d 1.6 gr/cm^3 y R_p 18 kg/cm^2 comúnmente denominado piso de arado y producto de un uso intensivo de la labranza durante mas de 50 años, la otra capa compacta a la profundidad de 140 cm de profundidad con valores de 1.4 gr/cm^3 y 19 kg/cm^2 producto del origen de esos suelos ya que la acumulación del carbonato de calcio a esa profundidad genera una capa dura e impermeable

Cuadro 7. Valores de p_d y R_p en la huerta Tierra Blanca (2003).

Profundidad (cm)	p_d (gr/cm^3)	R_p (kg/cm^2)
0 – 13	1.4	9
13 – 40	1.6	18
40 -130	1.5	15
130 – 140	1.4	19

El análisis de p_d y R_p permitió diferenciar las dos huertas en cuanto al efecto del manejo del suelo en la formación de capas compactas en el perfil del suelo, el siguiente análisis referirá sobre la capacidad de esas diferentes capas u horizontes para retener agua, relacionado a estudios anteriores del presente trabajo (Cuadro 6 y 7) con valores de contenido volumétrico a diferente presión.

7. 3. Curvas de humedad volumétrica en función del potencial hídrico

La obtención y análisis de las curvas de humedad volumétrica del suelo de las huertas en estudio se realizó a partir de muestras de suelo disturbadas sobre los diferentes horizontes o estratos representativas del perfil, enseguida las muestras de suelo se sometieron a diferentes potenciales hídricos 0.3, 3, 9 y 15 bares (marmita de Richards).

Es de importancia mencionar que muchos factores intervienen en la relación entre la presión parcial en agua del suelo y su humedad {relación $\psi(\theta)$ }, la textura, la compactación del suelo y la preparación de las muestras en laboratorio. Las curvas de potencial hídrico no son idénticas según como fueron establecidas re humectación o desecamiento (fenómeno de histéresis).

Estas curvas de humedad volumétrica caracterizan la retención y almacenamiento de agua por el suelo. Cuando el potencial matricial es inferior a 1 bar se relaciona principalmente con la retención capilar, si es superior a un bar esta ligado a la retención gravitacional y si es superior a 15 bares se relaciona con el punto de marchites permanente.

A partir de los datos obtenidos en laboratorio de muestras disturbadas de suelo de la huerta **Lácteos Florida** en la figura 14 se presentan los horizontes o estratos del suelo del perfil (0-20 20-40 y 40-100 cm de profundidad), las curvas de potencial hídrico se establecieron en fase de desecamiento y el análisis de dicha figura muestra que el horizonte superficial resalta por su alta retención de humedad seguido del horizonte ubicado a partir de los 60 cm de profundidad y a diferencia del estrato (20 – 40 cm) quien presenta los valores reducidos de retención de humedad, de forma general la humedad volumétrica disminuye rápidamente entre el potencial 0.3 y 3 bares que entre el potencial 9 y 15 bares. Los datos ya descritos corresponden a suelo arcilloso, en los cuales las partículas finas tienen una capacidad de retención de humedad mayor que las partículas gruesas a diferentes tensiones, tomando en cuenta la capacidad de campo y

punto de marchites permanente el perfil del suelo tiene la capacidad de almacenar una lamina de agua de 18.8 cm.

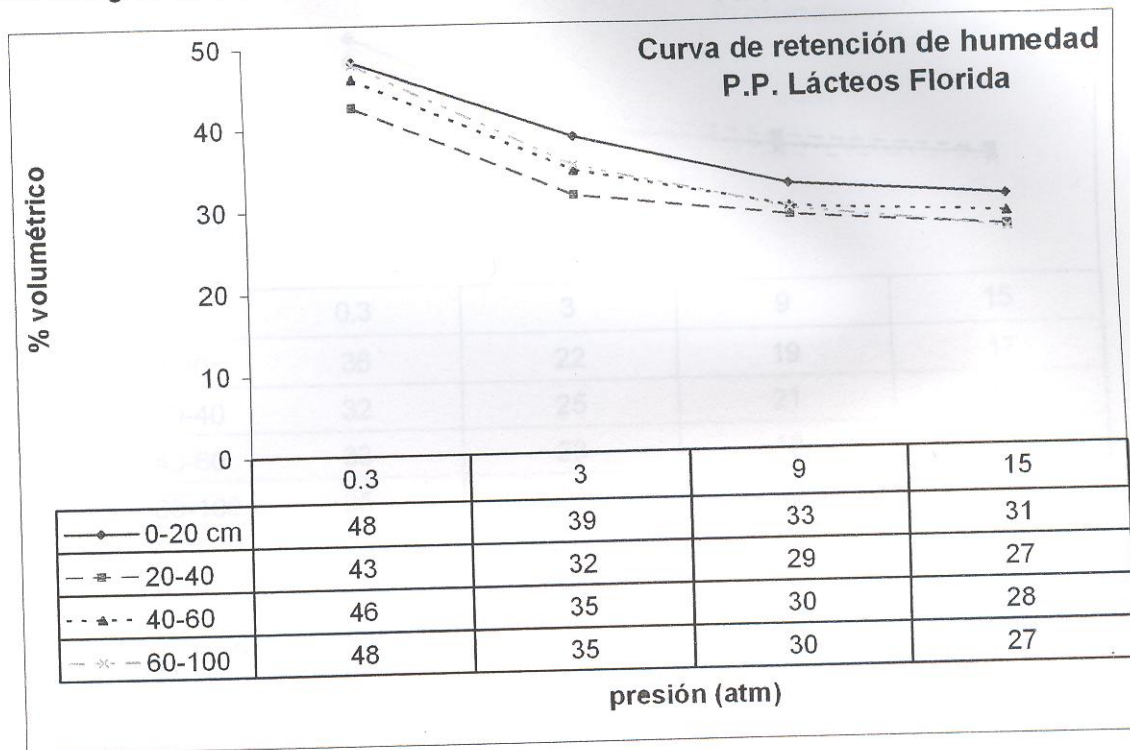


Figura 14. Curva de retención de humedad volumétrica en la huerta Lácteos Florida (2003).

La figura 15 muestra los horizontes o capas representativas del perfil de la huerta Tierra Blanca, el análisis de dicha figura muestra que el contenido volumétrico es sensiblemente idéntico en todo el perfil con una disminución importante del potencial 0.3 a 3 bares y gradual de 9 a 15 bares. Los contenidos volumétricos descritos proceden principalmente de textura gruesa mencionadas (cuadro 4), las cuales tienden a retener menor cantidad de agua a diferencia de las partículas finas, sin embargo en la capa 20 a 40cm de profundidad el incremento del contenido volumétrico obedece al valor de p_d y R_p alta que esta a su vez fue incrementado producto de labranza intensiva.

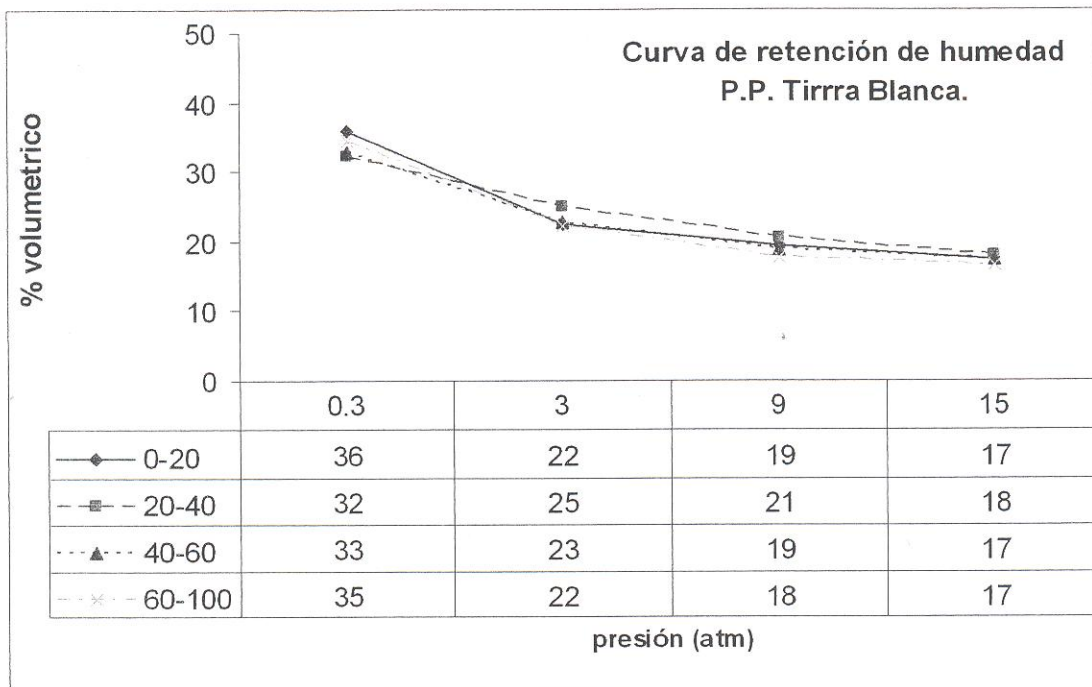


Figura 15. Curvas de retención de humedad volumétrica en la Huerta Tierra Blanca (2003).

7.4. Infiltración.

Posterior a la interpretación de los resultados de humedad volumétrica en función del potencial hídrico, la siguiente interpretación de resultados versará sobre la infiltración bajo condiciones de carga constante mediante la velocidad de infiltración.

a) Velocidad de infiltración mediante el método de Múntz.

El principio del método consiste en mantener una carga hidráulica de 3 a 5 cm de altura sobre la superficie del suelo y en el cilindro interno (figura 9), la medición termina hasta cuando se tiene una velocidad de infiltración estable. Esta duración es muy diferente de un suelo a otro.

La figura 16 (anexo A4) presenta los resultados de la velocidad de infiltración a diferentes profundidades para la huerta **P.P. Lácteos Florida**.

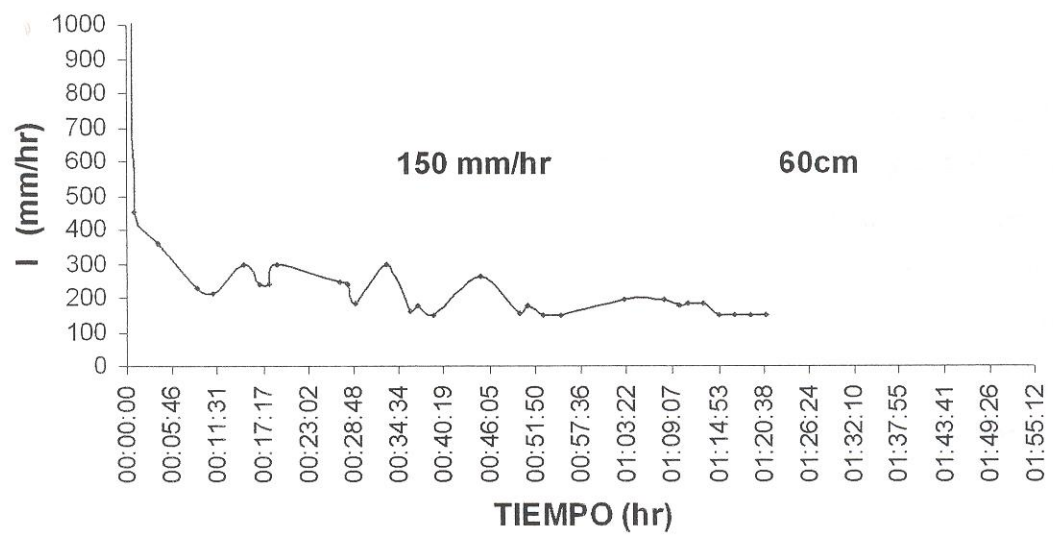
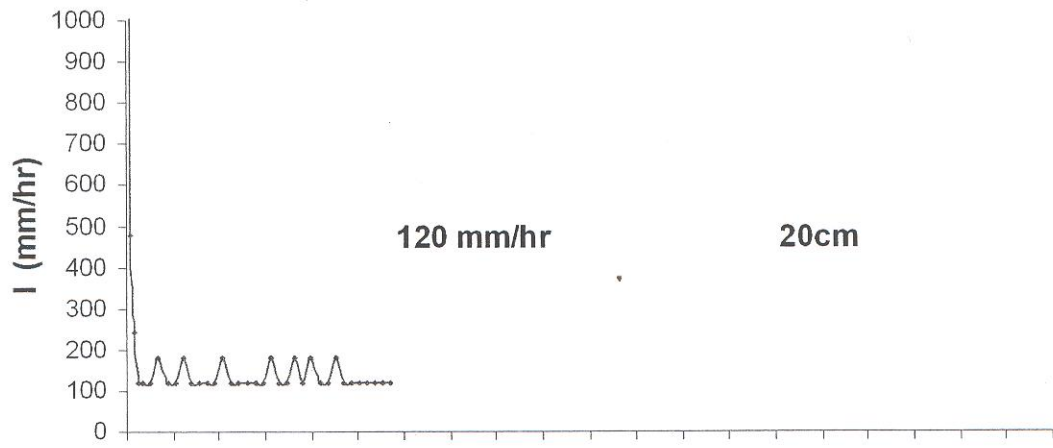
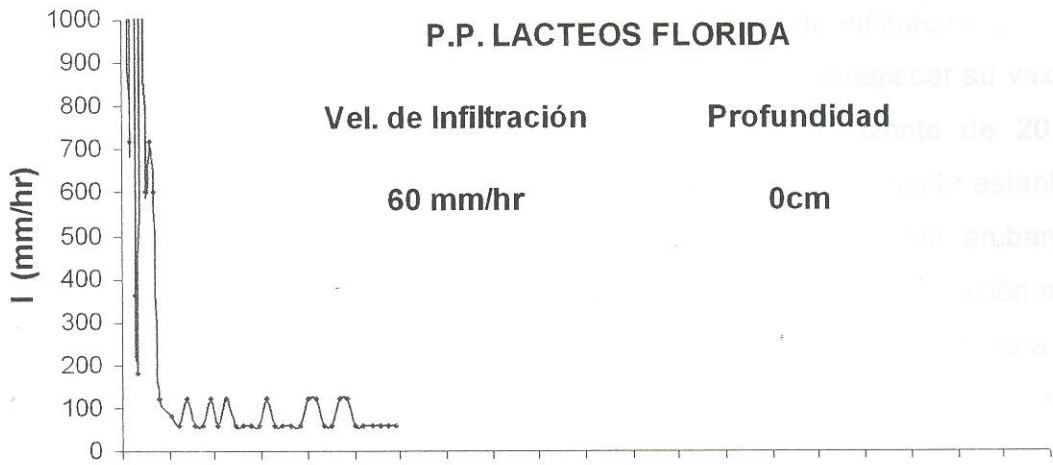


Figura 16. Velocidad de infiltración del perfil de suelo de la Huerta Lácteos Florida (2003).

Esta figura muestra que en la superficie la velocidad de infiltración disminuyó a partir de 5 minutos con una rapidez de 60 a 120 mm/hr hasta establecer su valor en 60 mm/hr en un tiempo de 34 minutos. Por su parte en el horizonte de 20 cm de profundidad la velocidad de infiltración se incrementó de 120 a 180 mm/hr estableciendo su valor a 120 mm/hr en un lapso de tiempo de 33 minutos, sin embargo a la profundidad de 60 cm se manifiesta un incremento de velocidad de infiltración de 180 a 300 mm/hr dejándose ver constante en 150 mm/hr a un tiempo de 1 hora con 21 minutos. En la superficie al inicio (5 minutos) se observa una variación oscilante que no se presenta en las profundidades de 20 y 60 cm, debido a que en la superficie existen agrietamientos de suelo originado por la contracción de compuestos de arcilla posterior a la aplicación del riego.

Lo anterior demuestra que la infiltración en este suelo se incrementa con la profundidad y se puede explicar debido al manejo que se realiza en el suelo a través de prácticas de conservación que permite incrementar el contenido de materia orgánica (< 3%) hasta la profundidad de 40 cm y que generan un efecto importante en la agregación del suelo y que manifiesta valores reducidos de R_p (6 kg/cm^2) y p_d (1.3 g/cm^3), permitiendo una condición favorable al flujo del agua en los diferentes horizontes o estratos como se muestra en la figura 16.

La figura 17 se presenta los valores de velocidad de infiltración para los diferentes estratos del perfil del suelo para la huerta **Tierra Blanca** (anexo A5). Esta figura muestra que la infiltración en la superficie disminuyó a los 14 minutos con variaciones de infiltración inferior a 120 mm/hr estableciéndose a los 60 mm/hr en tiempo de 1 hora y 14 minutos, mientras que en la profundidad de 13 cm la velocidad de infiltración disminuyó drásticamente hasta alcanzar un valor de 17 mm/hr en tiempo de 1 hora y 52 minutos. Sin embargo a la profundidad de 43 cm esta velocidad de infiltración se incrementó hasta los 300 mm/hr.

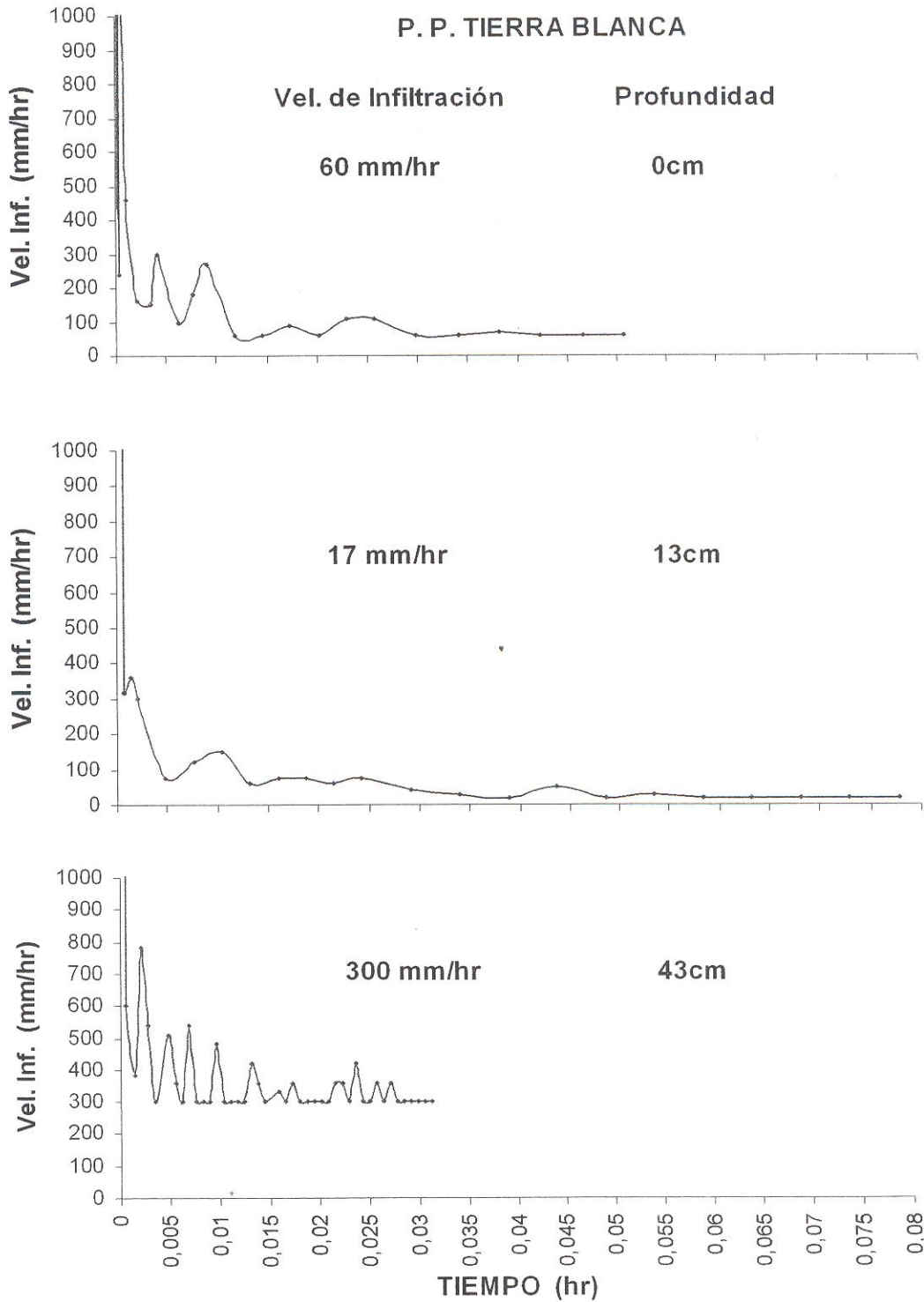


Figura 17. Velocidad de infiltración del perfil de suelo de la Huerto Tierra Blanca (2003).

La velocidad de infiltración reportada en la figura 17 se deriva del sistema de labranza intensiva, el cual refleja crítico a 13cm de profundidad con porcentaje de materia orgánica de 0.59%, Rp de 18 kg/cm² y pd de 1.6 gr/cm³. La materia orgánica repercute en la agregación y estructura del suelo quedando las partículas de limo y arcilla libres que con ayuda del flujo de agua son erosionadas y depositadas en los poros de mayor tamaño ocasionando un taponamiento que afecta el flujo de agua de tal manera que se redujo la velocidad de infiltración a 17 mm/hr, a su vez afecta el estrato superior 0 a 13 cm e inferior 40 a 130 cm y sobretodo el diseño y calculo del riego en esta huerta, realizando un cuello de botella en el perfil descrito. Se constato en esta huerta la importancia de considerar el manejo del suelo (labranza intensiva)

b) La infiltración y el modelo de Green et Ampt.

En 1911 Green et Ampt propusieron un modelo matemático para describir la infiltración, de la forma siguiente;

$$i(t) = K_s + K_s (h_o - h_f) (\theta_s - \theta_i) / I(t) \quad (2)$$

Donde K_s = 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,

$I(t)$ = lamina infiltrada durante la prueba.

Esta ecuación permite además determinar la conductividad hidráulica a saturación a partir de una grafica (figura 18) donde en el eje de las ordenadas corresponde a la velocidad de infiltración en función del inverso de la lamina infiltrada

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

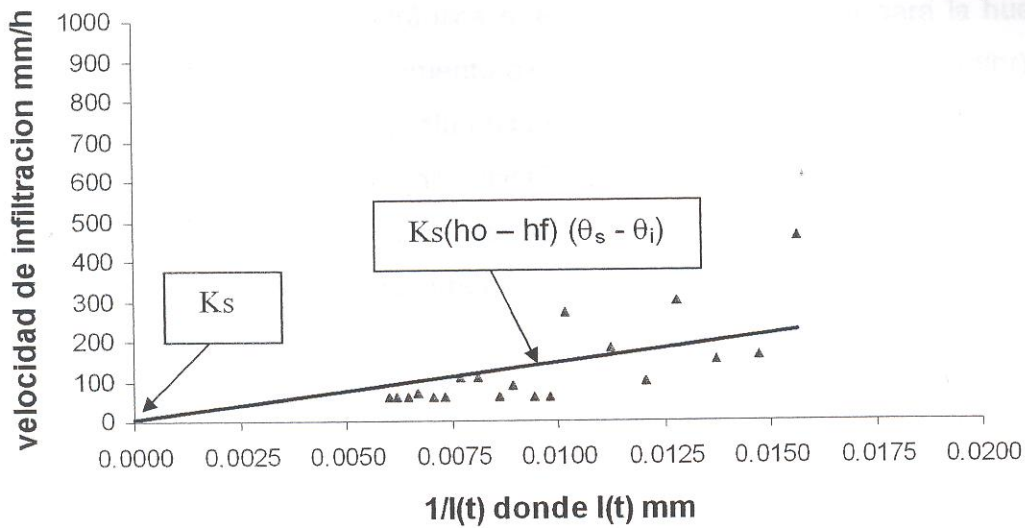


Figura 18. Determinación de los parámetros del modelo de Green et Ampt

La utilización del modelo de Green et Ampt para cuantificar la infiltración con equipos tipo Múntz y TRIMS, no presenta problemas en particular, porque se puede considerar que el suelo es lo suficientemente homogéneo (horizontes o capas representativas), para que la saturación se presente en los primeros centímetros del horizonte.

A continuación se presentan los resultados obtenidos por el método de Múntz bajo carga hidráulica y constante en la superficie del suelo y de los horizontes representativos para determinar la conductividad hidráulica saturación a partir de los parámetros del modelo de Green et Ampt que considera un movimiento de agua difásico ya que en su movimiento el agua se acompaña generalmente por aire pero en sentido inverso al movimiento del líquido.

La figura 19 muestra los valores de Ksat según el modelo de Green et Ampt, para los diferentes horizontes del perfil en la huerta **P.P. Lácteos Florida**. El análisis de la figura permite diferenciar el funcionamiento hidrodinámico de los horizontes en relación al valor de la conductividad hidráulica obtenida, de esta manera para la huerta Florida Se observa que la ksat se incremento de la superficie del suelo (17 mm/hr) hacia los horizontes o capas de mayor profundidad (57 mm/hr) y (75 mm/hr) para 20 y 60 cm respectivamente. Lo anterior permite clasificar los horizontes de acuerdo a su infiltración, donde el horizonte ubicado a 60 cm de profundidad es de mayor infiltración seguido por la capa de 20 cm y finalmente la superficie del suelo. Los valores altos de Ksat a medida que la profundidad incremento se por la presencia de materia orgánica, pd de 1.3 a 1.2 gr/cm^3 y Rp de 6 a 5 kg/cm^2 .

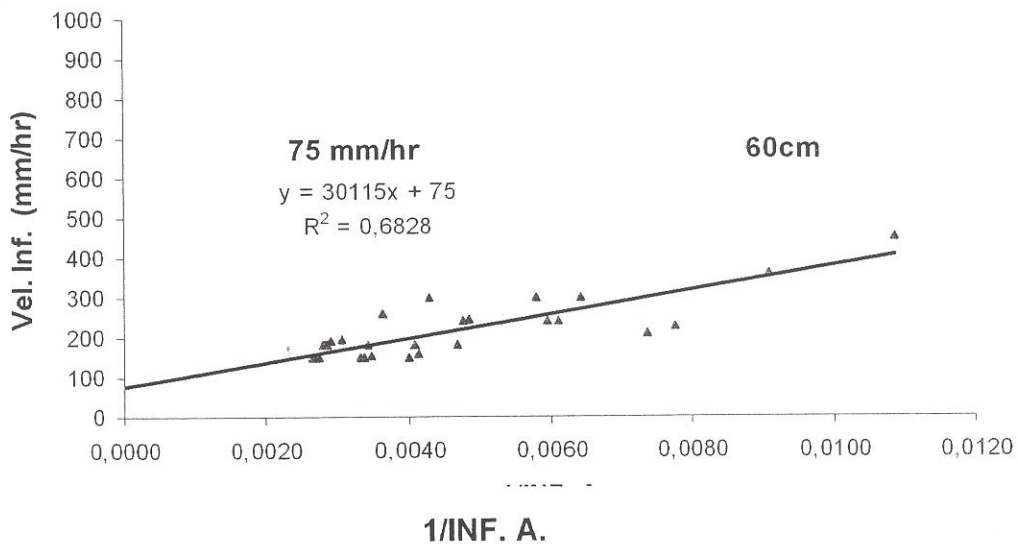
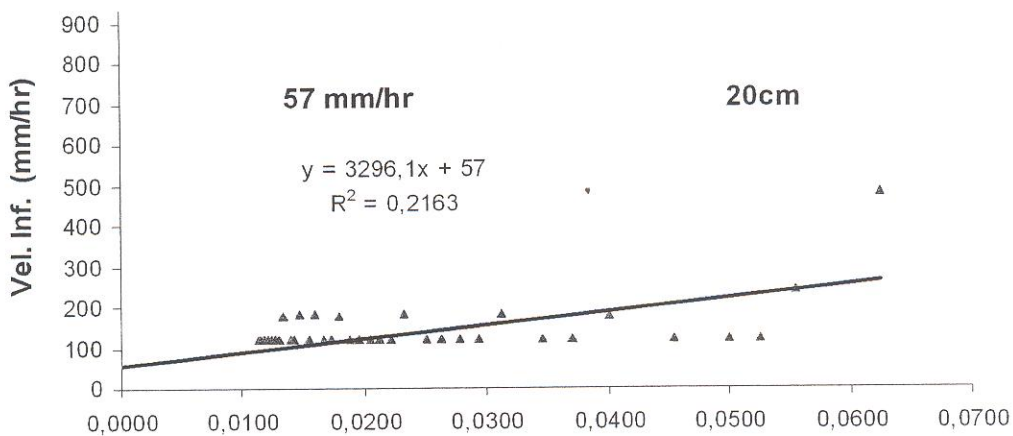
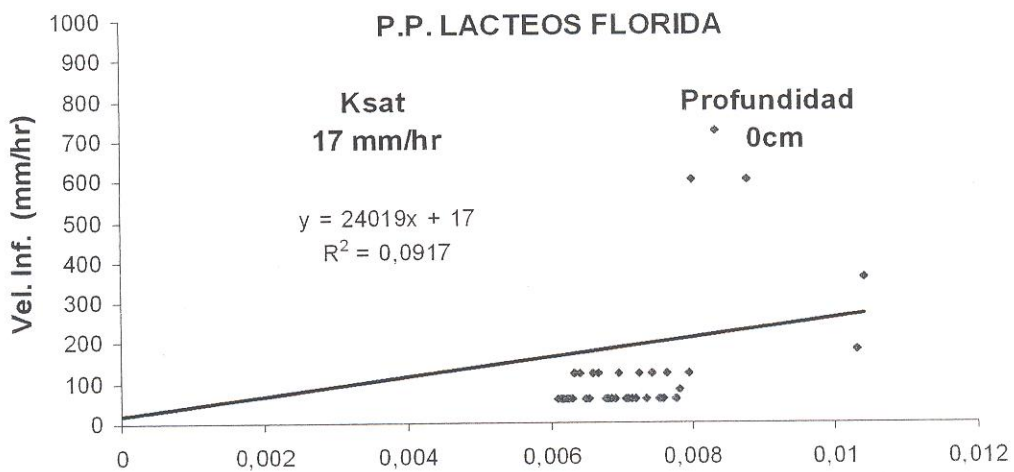


Figura 19. Conductividad hidráulica a saturación del perfil de suelo de la Huerta Lácteos Florida (2003).

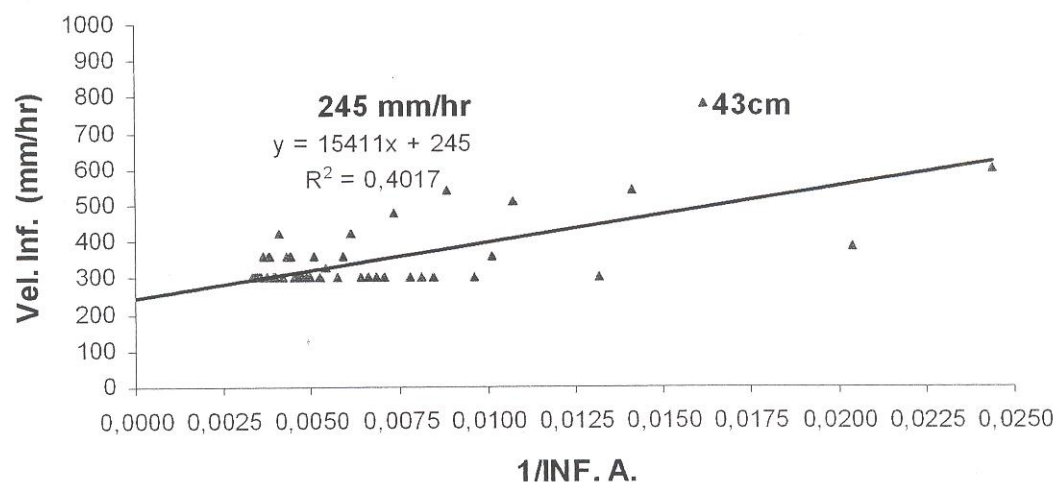
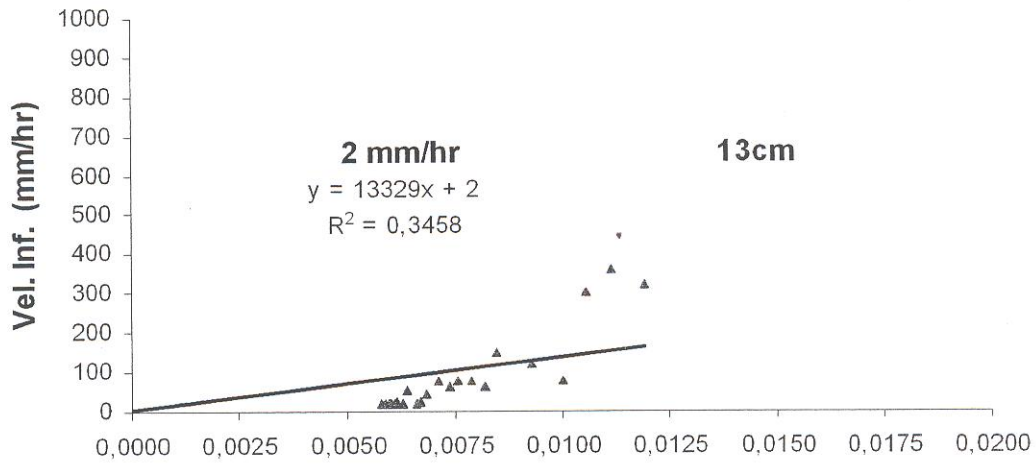
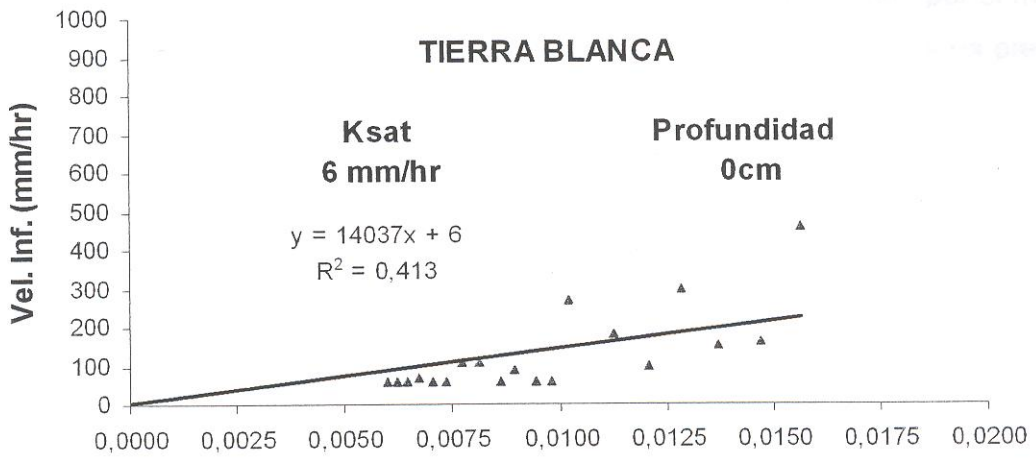


Figura 20. Conductividad hidráulica a saturación del perfil de suelo de la Huerta Tierra Blanca (2003).

La huerta Tierra Blanca (Figura 20) fue igualmente caracterizado por el modelo de Green et Ampt pero los horizontes o estratos representativos de esta huerta presentaron un funcionamiento hidrodinámico muy particular ya que el valor de k_{sat} es bajo en superficie (6 mm/h) y decreció hasta 2 mm/h a la profundidad de 13 cm, enseguida se incremento hasta 245 mm/h a 43 cm de profundidad, lo anterior permitió constatar que en la superficie y a 13 cm de profundidad son estratos de suelo con menor infiltración.

El análisis del valor de k_{sat} mediante la utilización del método de Múntz y el modelo de Green et Ampt permitió comprender el funcionamiento hidrodinámico de los horizontes o estratos representativos de las huertas Florida y Tierra Blanca bajo manejo de suelo diferente.

Posterior a dicho análisis el suelo de Florida y Tierra Blanca presentaron comportamiento diferente, es decir Florida presento mayor infiltración que Tierra Blanca en los primeros 30 cm de profundidad.

VIII. CONCLUSIONES.

La búsqueda de relaciones entre el movimiento del agua y el diseño de riego a partir de un manejo diferente del suelo en huertos de nogal pecanero condujo a describir el proceso de infiltración bajo un flujo permanente y la utilización de un modelo matemático para la obtención de la conductividad hidráulica a saturación.

El análisis de la infiltración bajo un dispositivo a carga constante y la utilización del modelo matemático de Green et Ampt permitieron comprender el funcionamiento hídrico de los diferentes horizontes o estratos representativos de la huertas en estudio.

El análisis mostró que las huertas bajo labranza intensiva presentan un comportamiento al movimiento del agua diferente a las huertas con la utilización de labranza de conservación.

Los resultados resaltan claramente que para el cálculo y diseño del riego, es importante considerar el tipo de manejo del suelo (labranza intensiva y de conservación) ya que comercialmente se utiliza exclusivamente la textura, densidad aparente, cc, pmp e infiltración básica considerando el perfil del suelo homogéneo.

El sistema de labranza utilizado genera cambios substanciales en los espacios por donde circula el agua de riego, de ahí que la huerta Lácteos Florida presente condiciones para un mejor aprovechamiento del agua de riego a diferencia de Tierra Blanca, por lo cual es importante de considerar el sistema de manejo del suelo para el cálculo y diseño del riego.

IX SUGERENCIAS.

1.- MANEJO SUSTENTABLE DEL SUELO

- Mantener una cubierta vegetal a una altura de 15 a 20 cm, con fines de proporcionar al suelo materia orgánica.
- Reducir el uso de maquinarias e implementos agrícolas para disminuir los valores de R_p y D_a , elevar las tasas de M.O. y la agregación del suelo.

2.- DISEÑO DE RIEGO

- Identificar el tipo de labranza que practica el productor.
- Determinar la capa compacta en el perfil del suelo.
- En el diseño de riego por aspersión, calcular la intensidad de lluvia en vase a K_{sa} de la capa compacta.
- En el caso de riego por goteo subterráneo, colocar las líneas regantes de cintilla por debajo de la capa compacta.

X. BIBLIOGRAFÍA.

- AGUILERA C. Y E. MARTINEZ. (1980). Relaciones Agua, Suelo, Planta, Atmósfera, 2ª, ed., Patronato Universitario de la Universidad Autónoma Chapingo, México. p 57-64.
- BAVER, L. D.; W. H. GARDNER Y W. R. GARDNER. (1972). Física de suelos. Ed. Limusa. p 196-204.
- BAVER, L. D., W. H. GARDNER Y W. R. GARDNER, (1980). Física de Suelos. Ed. Uteha, México.
- BRISON, R. F. (1976). Cultivo del Nogal Pecanero. México. CONAFRUT. p 4, 34, 79, 83, 97.
- CARAS MERINO PABLO M. (1993), Riego por Aspersión, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Irrigación. Chapingo México. 1ª ed. p 50-52.
- CERDA GARZA JOSE ANGEL. (2003). Monografía el Cultivo del Nogal Pecanero (*Carya illinoensis*) en el Norte de México. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. p 8.
- CLOTHIER, B. E. Y WHITE I. (1981). Measurement of Sorptivity and Soil Difusivity in the Field. Soil Sci. Soc. Am. J., p 117, 311-314.
- ESTRADA AVALOS, J. (1999). Importance fonctionnement des petits barrages dans une zone semi-aride du Nord Mexique. Thèse doctoral. Université de Montpellier II, publicada 1999.
- FITZPATRICK E. A. (1980). Suelos, Su Formación, Clasificación y Distribución, Ed. Continental s. a. de c. v., 1ª ed. en español 1984.

- FUENTES YAGUE JESÚS / GARCÍA LEGASPI GUILLERMO, (1999). Técnicas de Riego, 1ª ed, Ed. Mundi-Prensa, México.
- GARCÍA ARELLANO., D.¹, CATALÁN VALENCIA.,² E. A. Y SÁNCHEZ COHEN. (1999). IX Congreso Nacional de Irrigación. Simposio 1. Culiacán, Sinaloa, México.
- GAVANDE, S. A. (1979). Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. Ed. Limusa. p 94-97.
- GODOY A., C., I. REYES J Y M.V. HUITRÓN R. (1999). Respuesta del nogal a la disponibilidad del agua. p 35-42. *In*: Tecnología de riego en nogal pecanero. Libro Científico No. 1. Primera Edición. SAGAR. INIFAP. CIFAP-Comarca Lagunera.
- GONZÁLEZ A. (1998). Evolución temporal de la Infiltración Superficial a Escala de Parcela. In Avances Sobre el Estudio de la Erosión Hídrica. Jornadas Internacionales sobre Erosión Hídrica. La Coruña. p. 101-127.
- GONZÁLEZ. (1999). Métodos de Cálculo de la Conductividad Hidráulica Saturada de Campo Medida con Permeámetro Guelph. En: R. Muñoz-Carpena, Ritter, A. y C. Tascón (Eds.). Estudios en la zona no saturada del suelo. ICIA, Tenerife. p 5-10.
- GONZALEZ C. G. (1995). La Compactación en Huertas de Nogal Pecanero. Tercer Simposium Internacional Nogalero (NOGATEC). Torreón Coahuila, México. p. 55-56.
- 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.

- MEDINA MORALES MA. DEL CONSUELO Y CANO RÍOS PEDRO. (1994). Aspectos Generales del Nogal Pecanero. EN: El Nogal Pecanero. Libro Técnico N.1. Campo experimental de La Laguna-INIFAP. p 2.
- MEDINA MORALES MA. DEL CONSUELO. (1998). Producción de Nuez y su Alternancia en Nogal Pecanero. Sexto Simposium internacional Nogalero (NOGETC 98), Torreón Coahuila. p. 63-69.
- ORONA CASTILLO I. (2003). Productividad del Agua en el Cultivo del Nopal con Riego por Goteo en la Comarca Lagunera: Revista TERRA, Periodo Abril-Junio del 2003, Volumen 21, Numero 2. p 195.
- PERROUX K. M. Y WHITE I. (1988). Designs for Disc Permeameters. Soil Sci. Am. J. p 52, 1205-1215.
- PHILIP, J. R. (1957). The Theory of Infiltration. 4. Scoptivity and Algebraic Infiltration Equations. Soil Sci. 84: p257-264.
- REYNOLDS, W.D. Y W.D. ZEBCHUCK. (1996). Hydraulic Conductivity in a Clay Soil: two Measurement Techniques and Spatial Characterization. Soil Science Society of America Journal. p 60, 1679-1685.
- REYNOLDS, W.D., ELRICK, D.E Y CLOTHIER, B.E. (1985). The Constant Head Well Permeameter: Effect of Unsaturated Flow. Soil Sci. Soc. Am. J., p 139, 173-180.
- REYNOLDS, W.D. Y ELRICK, D.E.A (1986). Method for Simultaneous *in situ* Measurement in the Vadose Zone of Field-Saturated Hydraulic Conductivity, Sorptivity and the Conductivity Pressure-Head Relationship. Ground Water Monit. Rev., 6: p 84-95.

- REYNOLDS, W.D. Y ELRICK, D.E.A. (1985). Measurement of Field-Saturated Hydraulic Conductivity, Sorptivity and the Conductivity-Pressure Head Relationship Using the "Guelph Permeameter". Proc. National Water Well Association Conference on Characterization and Monitoring of the Vadose (Unsaturated) Zone, Denver, CO.
- RODRIGUEZ FUENTES HUMBERTO, RODRIGUEZ ABSI JOSÉ (2002), Métodos de Análisis de Suelos y Plantas Criterios de Interpretación, 1ª ed, Ed. Trillas s. a de c.v., mexico d.f., p 132-137.
- ROJAS PEÑA LINDOLFO Y RAMIREZ RAMOS LUIS EDMUNDO. (1998). Uso y Manejo del Agua. UAAAN, Departamento de Riego y Drenaje. 1ª ed. Buenavista saltillo, México.
- RUSSELL, J. E. Y E. W. RUSSELL. (1968). Las Condiciones del Suelo y el Crecimiento de las Plantas. 4ª ed, Editorial Aguilar. p 434.
- SAGARPA – INIFAP. (2002). Tecnología de Producción en Nogal Pecanero, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo experimental La Laguna). Matamoros, Coahuila, México. Libro Técnico No 3, 1ª ed, Noviembre del 2002. p 2.
- SAGARPA – ALIANZA PARA EL CAMPO. (2000). Anuario Estadístico de la Producción Agropecuaria. Región Lagunera Coahuila-Durango. p 102-103.
- SAGAR – ALIANZA PARA EL CAMPO. (1997). Anuario Estadístico de la Producción Agropecuaria. Región Lagunera Coahuila-Durango. p 32, 110-111.
- SMETTEM, K. R. J.; J. Y. PARLANGE; P. J. ROSS Y HAVERKAMP R. (1995). Three-Dimensional Analysis of Infiltration From the Disc Infiltrimeter. 3. Parameter

Estimation Using a Double-Disk Tension Infiltrometer. *Water Res. Res.*, p 31, 2491-2495.

SMETTEN K. R. J. Y CLOTHIER B. E. (1989). Measuring Unsaturated Sorptivity and Hydraulic Conductivity Using Multiple Disc Permeameters. *J. Soil Sci.* p 40, 563-568.

SPARKS, D. (1996). A Climatic model for pecan production under humid condition. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121: 908-914.

S. W. BUOL. F. D. HOLE. R. J. MCCRACKEN. (1981). Génesis y Clasificación de Suelos. (soil genesis and clasification), Ed. Trillas s.a de c.v., 1ª ed. en español 1981. p 60-63.

TABOADA CASTRO, M. M.; M. LADO LIÑARES; A. DIÉGUEZ VILLAR Y PAZ GONZÁLEZ A. (1998). Evolución temporal de la Infiltración Superficial a Escala de Parcela. In *Avances Sobre el Estudio de la Erosión Hídrica. Jornadas Internacionales sobre Erosión Hídrica. La Coruña.* p 101-127.

THAMANE, R. V., D. P. MOTIRAMANI Y Y. P. BALI. (1983). Suelos: Su Química y Fertilidad en Zonas Tropicales, Ed. Diana, México. p 34-38.

WILSON, G. V. Y LUXMOORE R. J. (1988). Infiltration, Macroporosity and Mesoporosity Distributions on two Forested Watersheds. *Soil Sci. Soc. Am. J.* p 52, 329-335.

XIANG, J. (1994). Improvements in Evaluating Constant-Head Permeameter Test Data. *J. Hydrol.* p 162, 77-97.

XI PÁGINAS WEB CONSULTADAS.

<http://www.agriculturadeprecision.org/mansit/Comportamiento%20Fisico-Funcional%20de%20Suelos.htm>

<http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2000/jul-ago/art-1.pdf>

<http://www.chapingo.mx/terra/contenido/18/3/art239-245.pdf>

<http://www.naturaweb.net/permeametro.html> - 37k

A1

Análisis Físico y Químico de suelo en la P.P. Lácteos Florida (2003).

	PROFUNDIDAD (cm)	
	0 - 20	20 - 40

ANEXOS

	0 - 20	20 - 40	40 - 100
Carbono orgánico (C _{org} , %)	1.46	2.31	2.63
Carbono total (CaCO ₃ , %)	5.2	5.0	2.93
Nitrógeno total (%)	4.59	2.33	0.82
Fósforo total (mg)	77	47	17.5
		40	6
			980

A1

Análisis Físico y Químico de suelo en la P.P. Lácteos Florida (2003).

IDENTIFICACIÓN	PROFUNDIDAD (cm)		
	0 - 20	20 - 40	40 - 100
pH	8.60	8.48	8.29
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	1.97	1.61	3.79
Calcio soluble (Ca ⁺² , meq L ⁻¹)	8.95	6.46	18.19
Magnesio soluble (Mg ⁺² , meq L ⁻¹)	1.75	1.21	2.6
Sodio soluble (Na ⁺ , meq L ⁻¹)	4.3	4.82	20.82
Potasio soluble (K ⁺ , meq L ⁻¹)			
Fierro (ppm)	13	9.56	7.7
Cobre (ppm)	2.3	1.64	0.8
Zinc (ppm)	10.1	3.36	1.2
Manganeso (ppm)	29.6	19.4	19
Porcentaje de sodio intercambiable (PSI cal., %)	1.46	2.31	7.63
Carbonos totales (CaCO ₃ , %)	5.2	5.6	2.93
Materia orgánica (%)	4.59	2.33	0.82
Nitrógeno disponible (N – NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹)	77	47	17.5
Fósforo disponible (P, mg kg ⁻¹)	162.0	46	6
Potasio disponible (K, mg kg ⁻¹)	2348	2285	980
Arena (%)	23.0	17.0	15.0
Limo (%)	34.0	30.0	32.0
Arcilla (%)	43.0	53.0	53.0
CALSE TEXTURAL.	Arcilla	Arcilla	Arcilla

A2

Análisis Físico y Químico de suelo en la P.P. Tierra Blanca (2003).

IDENTIFICACIÓN	PROFUNDIDAD (cm)			
	0 - 13	13 - 40	40 - 130	130 - 140
pH	8.28	8.65	8.36	8.32
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	353	320	947	1220
Carbonos Totales (CaCO ₃ %)	8.54	8.85	16.93	19.14
Materia Orgánica (%)	3.09	0.59	0.4	0.2
Nitrógeno Disponible (N- NO ₃ ⁻ , mg kg ⁻¹)	16.65	5.45	26.15	41.4
Relación Carbono / Nitrógeno (C/N)	4.85	9.97	9.66	5.11
Carbono Total (%)	1.8	0.34	0.23	0.11
Nitrógeno (%)	0.371	0.0341	0.0238	0.0215
Arena (%)	47	49	59	33
Limo (%)	32	28	28	52
Arcilla (%)	21	23	13	15
CLASE TEXTURAL	Franco	Franco	Franco Arenoso	Franco Limoso

A3

del perfil de suelo en el nivel

P.P. LÁCTEOS FLORIDA

Análisis de retención de humedad de suelo P.P. Lácteos Florida (2003).

profundidad (cm)	presión (atm)			
	0.3	3	9	15
20	37.2	29.8	25.5	23.6
40	35.6	26.3	23.9	22.4
60	38.5	28.9	24.8	23.7
100	40.4	29.4	24.6	22.2

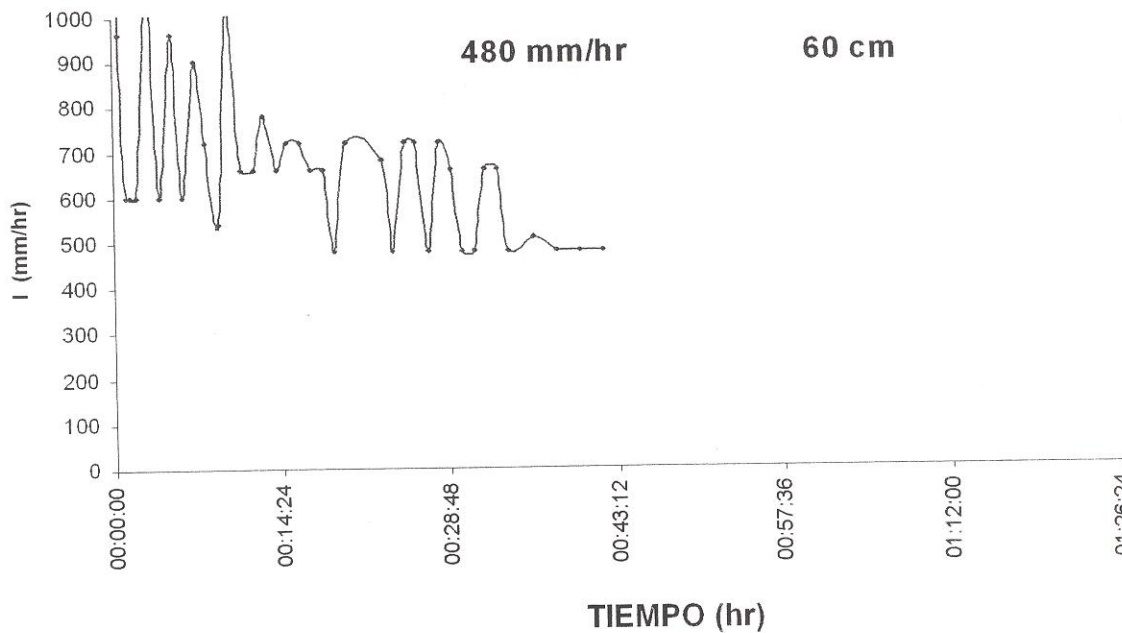
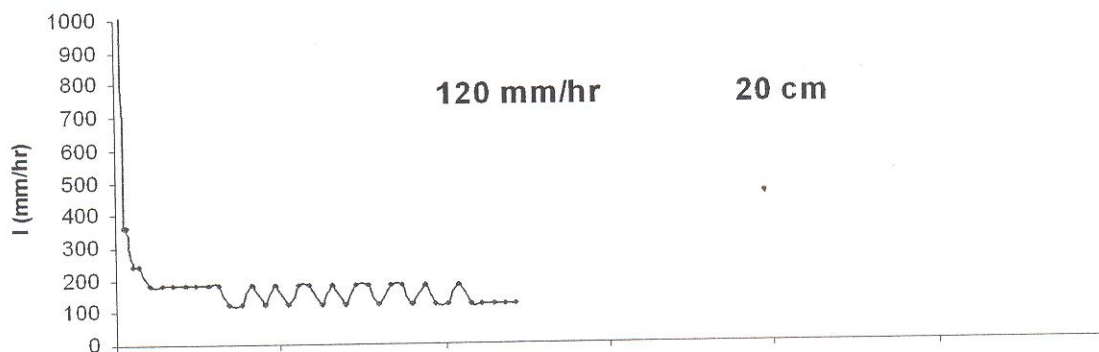
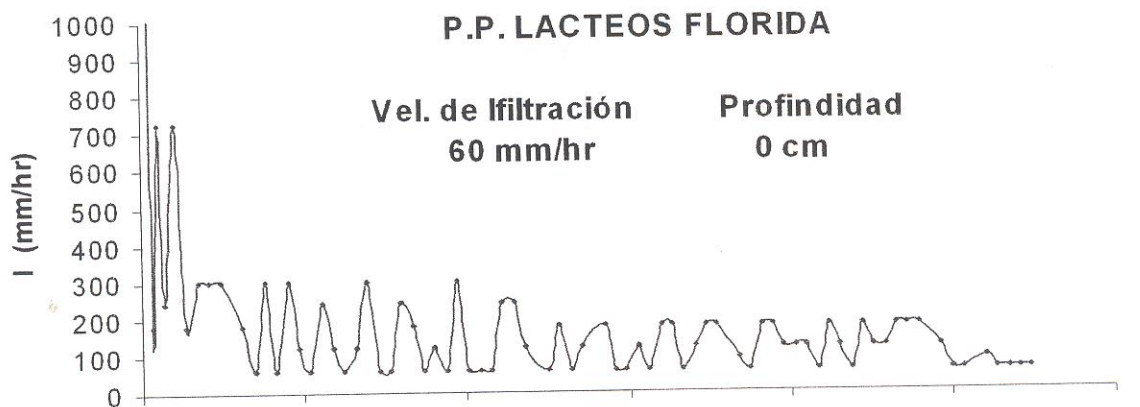
Análisis de retención de humedad de suelo P.P. Tierra Blanca (2003).

profundidad (cm)	presión (atm)			
	0.3	3	9	15
20	24.0	14.9	12.9	11.7
40	20.2	15.6	12.9	11.2
60	22.5	15.2	12.5	11.6
100	23.1	14.7	11.7	11.5

Los valores obtenidos en los cuadros A3-1 y A3-2 se multiplicaron por la densidad aparente de cada horizonte, con la finalidad de obtener el porcentaje volumétrico de suelo.

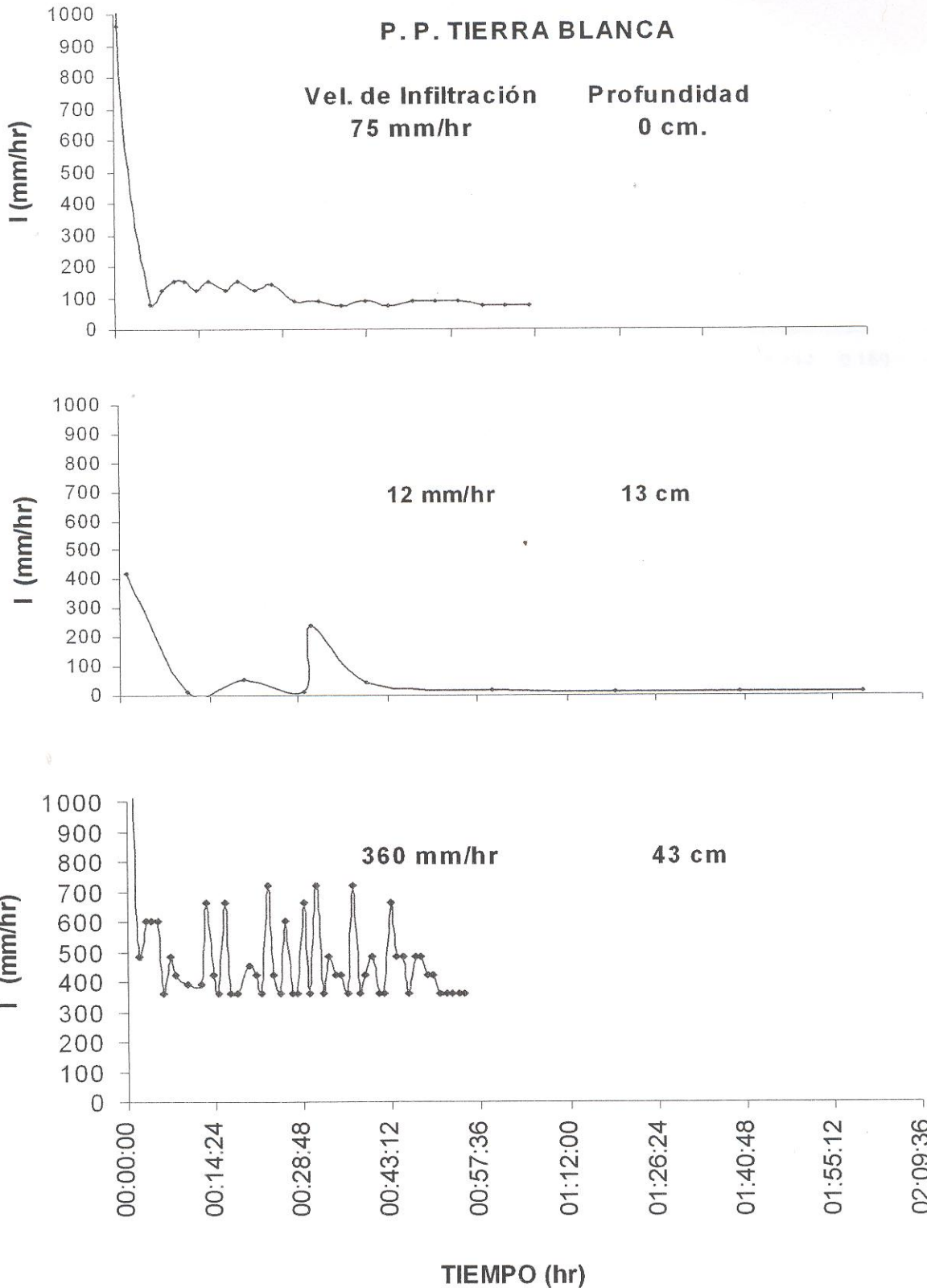
A4

Velocidad de infiltración del perfil de suelo en el huerto Lácteos Florida (2003).



A5

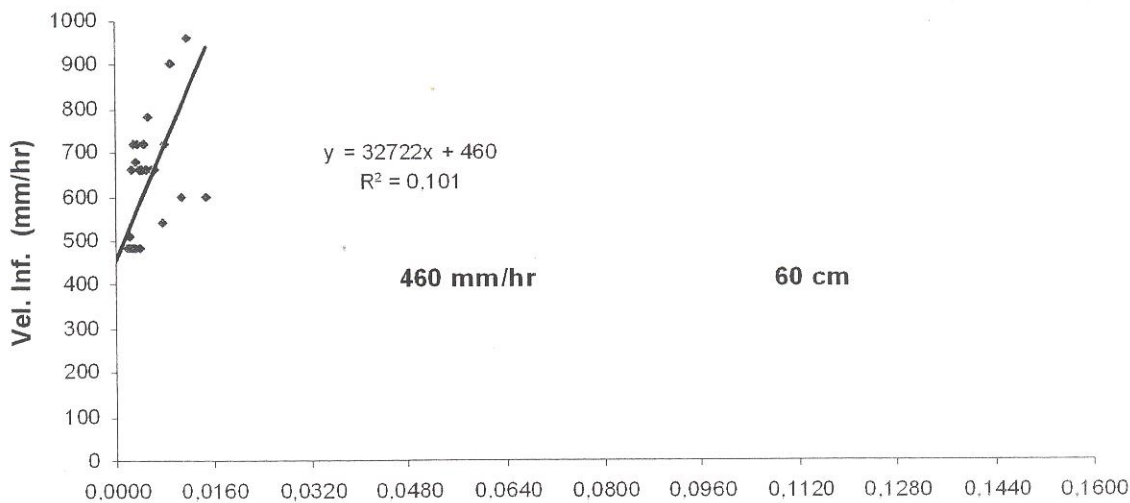
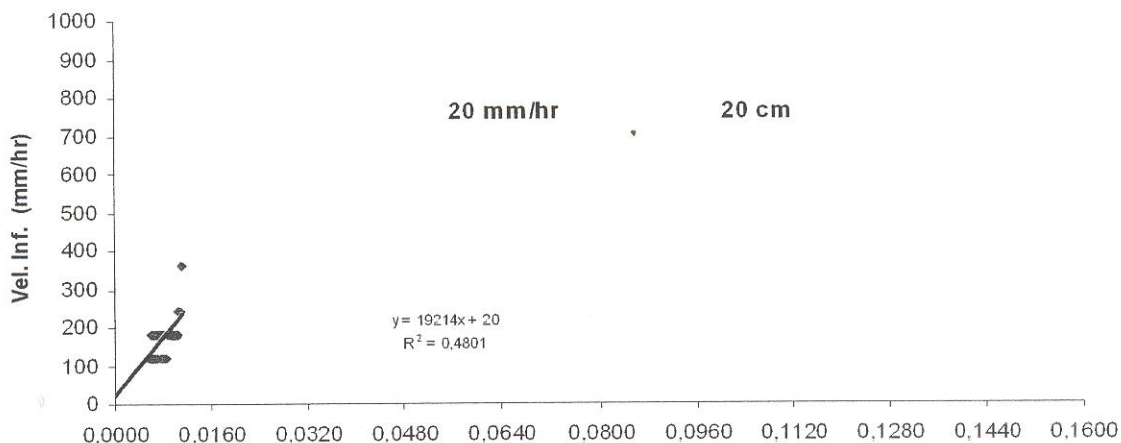
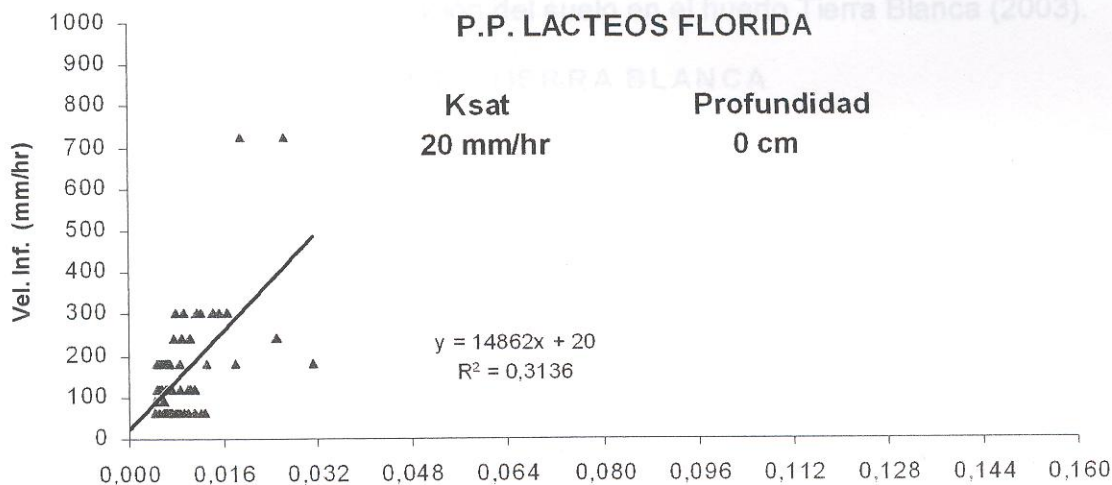
Velocidad de infiltración del perfil de suelo en el huerto Tierra Blanca (2003)



A6

Conductividad hidráulica a saturación del suelo en el huerto Lácteos Florida (2003).

P.P. LACTEOS FLORIDA



1/INF. A.

A7

Conductividad hidráulica a saturación del suelo en el huerto Tierra Blanca (2003).

