

808

UNIVERSIDAD DE SONORA

ESCUELA DE AGRICULTURA Y GANADERIA

**“DETERMINACION DE LAS CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD DEL
SUELO PARA DIEZ TEXTURAS DIFERENTES EN EL RANGO DE
10 A 100 CENTIBAR DE POTENCIAL MATRICO”**

TESIS

Josefina Olivas Tonopomea

NOVIEMBRE DE 1990.

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

"DETERMINACION DE LAS CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD DEL SUELO PARA DIEZ TEXTURAS DIFERENTES EN EL RANGO DE 10 A 100 CENTIBAR DE POTENCIAL MATRICO".

T E S I S

Sometida a la consideración de la
Escuela de Agricultura y Ganadería
de la
Universidad de Sonora
por

JOSEFINA OLIVAS TONOPOMEA

Como requisito para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo
con especialidad en Irrigación.

Noviembre de 1990

Esta tesis fue realizada bajo la dirección del consejo particular, aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del Grado de:

INGENIERO AGRONOMO EN:
IRRIGACION

CONSEJO PARTICULAR

ASESOR: -----
Ing. Francisco Antonio Preciado Flores

CONSEJERO: -----
M.C. Marco Antonio Huez López

CONSEJERO: -----
Ing. Victor Manuel Burquez Cano

A G R A D E C I M I E N T O S

A la Universidad de Sonora, a la Escuela de Agricultura y Ganadería y muy especialmente al Departamento de Irrigación, por la formación profesional que me proporcionaron tanto en sus aulas como en el campo.

Al Ing. Francisco Antonio Preciado Flores por su apoyo y consejos constantes, siendo este un agradecimiento especial por tan valiosa amistad brindada durante mi carrera; y por el esfuerzo y las facilidades prestadas para la realización, dirección y revisión de éste trabajo de investigación.

Al M.C. Marco Antonio Huez López por la ayuda tan valiosa y desinteresada y por sus consejos tan acertados para la realización de éste trabajo.

Al Ing. Victor Manuel Búrquez Cano por el apoyo moral brindado, por sus conocimientos y sus consejos tan acertados durante mi carrera, y por la ayuda prestada para la realización y revisión de éste trabajo.

A todos los maestros de la Escuela de Agricultura y Ganadería que hicieron posible mi formación profesional.

A mis amigos Heriberto, Fidel, Martín, Pascual, quienes me ayudaron en la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A DIOS por inspirarme a seguir adelante y no desfallecer en el intento.

A MIS PADRES:

Isabel Olivas Garcia. Gracias por darme la vida y cuyo recuerdo me hizo superarme.

Santos Tonopomea Viuda de Olivas. Le dedico con todo cariño mi esfuerzo y mi carrera, mil gracias por el apoyo, cariño, comprensión y consejos brindados durante mi carrera y por el esfuerzo realizado para que se hiciera posible el alcanzar una meta más en mi vida.

A MIS HERMANOS:

Isabel, Aurelia, Petra, Nelly, Vicky, Héctor, y Rogelia. Por su cariño, apoyo y por alentarme siempre a seguir adelante.

A la Sra. Martina Garcia, Nohemi Ibarra, Patricia Preciado y Gabriel Benitez. Por su cariño y apoyo brindado incondicionalmente.

A MIS AMIGOS:

Nidia, Lety, Martha, Francisca, Antonieta, Maggy, Rossy, Ana Ma., Ramsés, Sergio, Héctor, Leocadio, y demás compañeros y amigos quienes compartieron conmigo la etapa de estudiante, y me dieron su amistad y cariño.

C O N T E N I D O

	Página
1. INTRODUCCION.....	1
1.1.- Objetivos.....	2
2. LITERATURA REVISADA.....	3
3. MATERIALES Y METODOS.....	14
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	18
5. CONCLUSIONES.....	21
6. RECOMENDACIONES.....	23
7. BIBLIOGRAFIA.....	24
8. APENDICE.....	27

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Página
1	Relación entre la zona radicular y la profundidad de operación del Tensiómetro....	12
2	Potenciales mátricos a los cuales el agua debe ser aplicada para alcanzar las máximas producciones de varios cultivos desarrollados en suelos profundos, bien drenados que son fertilizados y por otro lado manejados para máximas producciones.....	28
3	Características físicas y químicas de 10 texturas diferentes.....	30
4	Valores de contenido de humedad expresados en por ciento en base a peso de suelo seco.....	31
5	Valores de contenido volumétrico expresado en metros cúbicos por hectárea por 30 centímetros de profundidad a diferentes valores de potencial mátrico.....	32

INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Página
1	Relación entre los contenidos volumétricos de agua y sus potenciales mátricos para diferentes suelos con diferentes estructuras (a) suelo franco-limoso y (b) limo-arenoso fino.....	33
2	Curva de retención de humedad de un suelo de textura arenosa.....	34
3	Curva de retención de humedad de un suelo de textura arena francosa.....	35
4	Curva de retención de humedad de un suelo de textura franco arenosa.....	36
5	Curva de retención de humedad de un suelo de textura franca.....	37
6	Curva de retención de humedad de un suelo de textura franco arcillo arenoso.....	38
7	Curva de retención de humedad de un suelo de textura franco arcilloso.....	39
8	Curva de retención de humedad de un suelo de textura franco limoso.....	40
9	Curva de retención de humedad de un suelo de textura franco arcillo limoso.....	41
10	Curva de retención de humedad de un suelo de textura arcillo limoso.....	42

Figura No.	Pagina
11 Curva de retención de humedad de un suelo de textura arcillosa.....	43
12 Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo arenoso.....	44
13 Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo arena francosa	45
14 Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo franco arenoso	46
15 Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo franco.....	47
16 Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo franco arcillo arenoso.....	48
17 Volumen de agua retenido por Hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo franco arcilloso.....	49
18 Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo franco limoso..	50
19 Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo franco arcillo limoso.....	51
20 Volumen de agua retendido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo arcillo limoso.	52
21 Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo arcilloso.....	53

RESUMEN

En la realización del presente trabajo, se efectuó la determinación de las curvas de retención de humedad del suelo, para diez texturas diferentes.

El trabajo fué realizado bajo condiciones de laboratorio, utilizando para ello muestras de suelo normales desde el punto de vista de la salinidad. Para la determinación de la curva de retención de humedad del suelo se utilizó la olla de presión, para un rango de 10 a 100 centíbar.

En las curvas de retención obtenidas para cada una de las texturas en forma general se pueden observar dos tendencias perfectamente marcadas. De tal manera que la pendiente de la curva de retención es indicativa del tamaño y de la distribución de los poros en el suelo.

Se efectuó además el análisis de regresión simple utilizando el método de mínimos cuadrados para cada una de las texturas, siguiendo el modelo matemático exponencial, utilizandose para ello el paquete de computadora Quattro.

Las curvas características de retención de humedad del suelo obtenidas nos indican que existe una relación de tipo geométrica entre las variables (contenido de humedad y potencial mátrico).

Las ecuaciones resultantes tienen un alto coeficiente de determinación, lo que demuestra la buena correlación entre las variables para el rango establecido en el presente trabajo.

INTRODUCCION

El agua es un recurso limitado para la agricultura en las zonas áridas y semiáridas, por lo que es necesario hacer uso racional de este elemento, y obliga al mejoramiento de las técnicas de riego, mediante nuevos métodos. Donde es necesario efectuar la determinación de la humedad del suelo, y volumen de agua por aplicar para estar en condiciones de establecer programas de riego eficientes.

En la actualidad hay dispositivos que permiten obtener la humedad del suelo de manera directa e indirecta utilizados a nivel mundial, en algunas regiones cobra importancia el uso del tensiómetro, mismo que registra la tensión de la humedad del suelo, indicando el valor del potencial mátrico del agua en el suelo (centibar), pero no proporciona directamente el valor del contenido de humedad en el suelo.

Para relacionar las lecturas obtenidas en el tensiómetro, con los porcentajes de humedad del suelo, se requiere de la determinación de la curva de retención de humedad en el rango de 10 a 100 centibar de potencial mátrico.

Los tensiómetros no miden la gama completa de humedad más fácilmente aprovechable en todos los tipos de suelo, siendo en los suelo arenosos en donde llegan a cubrir hasta

un 85 % de la humedad aprovechable, mientras que los suelos arcillosos hasta un 30 %.

De acuerdo a lo anterior, los objetivos de la presente investigación son:

Determinar los valores de las curvas de retención de humedad en el suelo, para 10 texturas diferentes de suelo en el rango de 10 a 100 centibar de potencial mátrico, que nos permita correlacionar con las lecturas de un tensiómetro.

Determinar los volúmenes de agua en determinado espesor de suelo (30 cm) para cada textura de suelo y valor de potencial mátrico.

Obtener las ecuaciones de regresión simple para cada una de las texturas en estudio.

LITERATURA REVISADA

El conocimiento de las curvas características de retención de humedad del suelo, permite una estimación de la influencia de un cambio dado en el volumen del contenido de humedad sobre el potencial mátrico o viceversa. (5,9)

El potencial mátrico es definido como una medida a presión atmosférica de la tenacidad con la cual las moléculas de agua son retenidas por los coloides del suelo, cuyo valor siempre será negativo. (Cabe hacer la aclaración que algunos autores utilizan el término potencial de presión para referirse al potencial mátrico solo que con signo negativo, en el caso del presente trabajo utilizaremos el término de potencial mátrico). (21)

La relación entre el contenido de humedad expresado en por ciento y el potencial mátrico es lo que se conoce como la curva de retención de humedad del suelo. (6,18,22)

El valor del potencial mátrico es fundamental en riegos, porque describe la energía requerida para transferir el agua retenida desde el suelo hacia las raíces de las plantas. En algunos casos la salinidad que existe en el suelo es considerable y entonces debe tomarse en cuenta el potencial de solutos (potencial osmótico) sumado al potencial mátrico, donde resultaría una curva de esfuerzo de la humedad del suelo. (14,19)

Las curvas características de humedad en el suelo son usualmente determinadas para cualquier suelo que va a ser regado. Esta curva es dependiente de la textura, así como de la estructura del suelo. De esta manera, no es solo una curva diferente para cada textura, sino además una curva para cada configuración de la estructura del suelo (figura 1). Esto es de gran importancia práctica en la capa arable de los suelos, donde los cambios de estructura del suelo pueden ocurrir en lapsos cortos de tiempo. (15,18)

Las curvas características de humedad en el suelo, no pueden ser muy exactas, por que los cambios característicos son inferiores a las condiciones del campo. De tal manera que las curvas de humedad en el suelo obtenidas de muestras disturbadas deben ser utilizadas con precaución. (9,17)

La significancia de las curvas de retención es visualizada de mejor manera, considerando el sentido de la pendiente de la curva. Una sección vertical en la curva representa una situación donde el suelo contiene un número mayor de poros de un tamaño particular, cuando una tensión es aplicada, esos poros pueden desalojarse totalmente con pocos cambios en la tensión, así que sucede un cambio grande en el contenido de humedad, con un cambio extremadamente pequeño en la tensión. Una sección horizontal en la curva representa una situación donde ninguno de los poros son aprovechables de un tamaño que

pueden drenar sobre el rango establecido de la tensión, secciones en línea recta a pendientes intermedias, representan la situación donde la distribución de los poros resulta de una liberación uniforme de agua por cambio unitario de la tensión. De esta manera la condición de la curva de liberación es indicativa del tamaño de los poros y de la distribución del tamaño de los poros en el suelo. (9,17,28)

Como se observa en la Figura 1, la retención de humedad a bajos potenciales de presión o tensión (10 - 100 centibar), es fuertemente influenciada por el valor de la densidad aparente del suelo, tamaño y distribución de los poros. Mientras que la retención de humedad a altas tensiones (> 100 centibar), es debida principalmente a la adsorción relacionada con la superficie del material del suelo más que con la estructura del suelo. (15,30)

La relación entre el contenido de humedad y el potencial mátrico puede ser determinado utilizando, los métodos: del plato de tensión, la olla de presión y gravimétrico combinado con tensiómetros. (5,21,30)

El método del plato de tensión es empleado usualmente como una serie de equilibrios estabilizados con columnas de agua sucesivamente largas. La presión controlada del agua en el suelo es dada por la elevación relativa de la muestra de suelo con respecto a la superficie libre del agua en el

brazo cerrado del manómetro. En cada equilibrio es determinado el contenido de agua, y de una serie de mediciones es construida una curva relativa a las dos variables. (5,30)

El método del plato de tensión permite determinar el valor de la curva de retención a presiones menores de 100 centibar, aunque los mejores resultados se obtienen a presiones iguales ó menores a 50 centibar, ya que a presiones mayores las burbújas de aire que se colocan debajo del plato poroso, ocasionan el fenómeno de cavitación.

El método de la olla de presión es el más utilizado actualmente debido a su precisión y rapidez. La determinación se logra colocando muestras de suelo saturadas de agua en una cámara cerrada e incrementando la presión de aire seco en la cámara, el agua retenida a menores fuerzas que la presión del aire dentro de la cámara, es forzada a salir através de un pequeño dren que esta conectado al plato poroso, cuando cesa el drenaje, el agua en el suelo esta en equilibrio y esta a un potencial mátrico igual a la presión del aire aplicada, entonces la muestra puede ser retirada y obtener su contenido de humedad gravimétricamente. (5,21,30)

Buckingham (1907), fué el primero en proponer el método para medir la tensión del agua en el suelo y definió al

trabajo requerido para extraer del suelo un volumen unitario de agua como potencial capilar. (11).

Gardner y Richards (1922), definieron la tensión como la unidad física de precisión con respecto a una atmósfera de trabajo por unidad de volumen, y emplearon materiales a base de barro poroso, para determinar la tensión de agua en el suelo. En la práctica con el empleo de estos materiales se puede medir el contenido de humedad dentro de un rango de humedad disponible para la mayoría de las plantas. (3)

Los tensiómetros de cápsula de cerámica porosa como los desarrollados por Richards et. al. (1942), son los más utilizados para la determinación del potencial del agua en el suelo. Los tensiómetros describen el rango del potencial del agua en el suelo entre los valores de 10 y 80 centibar, sus rangos incluyen cerca del 85 % de la humedad aprovechable en suelos arenosos y solo el 30 % en suelos arcillosos, sin embargo pueden ser utilizados eficientemente en cualquier tipo de suelo. (4,7)

IMPORTANCIA DEL TENSIOMETRO PARA DETERMINAR EL REGIMEN DE RIEGO.

Estudios recientes efectuados sobre la respuesta de una planta al régimen del agua en el suelo, han demostrado que se tiene la máxima producción cuando es alta la capacidad del potencial de agua en la planta, y una baja en este potencial afecta la capacidad enzimática, y produce

menor área foliar, reduciendo la apertura de los estómas y disminuye la capacidad de fotosíntesis. (3,8)

CARACTERISTICAS DE LOS TENSIOMETROS

El tensiómetro, consiste en esencia en un tubo que puede ser de vidrio, plástico y latón. En un extremo va conectada la cápsula de cerámica porosa y en el otro extremo el tapón. Lateralmente y en la parte superior va conectado un manómetro el cual puede ser de agua, mercurio y de vacío. La escala de estos instrumentos es por lo general, en centésimos de atmósfera o en centímetros de agua. En los tensiómetros contruidos recientemente, el manómetro esta siendo sustituido por un transductor eléctrico - electrónico de presión. (18,21,26)

A pesar de que el rango de medición del tensiómetro es limitado, este se utiliza mucho; esto es porque el óptimo contenido de agua donde desarrolla la mayoría de los cultivos agrícolas (cuadro 2), corresponde a un potencial mátrico entre -10 y -80 centibar el cual es el rango de trabajo del tensiómetro. (18,22,26)

El funcionamiento del tensiómetro es de la siguiente forma: el agua retenida por la matriz del suelo, entra en equilibrio con el agua de la pared porosa de la cápsula de cerámica y como el sistema es cerrado, estas fuerzas son transmitidas a la columna de agua que se ve disminuida provocando un vacío que es detectado por el manómetro.

Cualquier aumento de tensión que se presente al secarse el suelo, registra una lectura en el manómetro. Por lo contrario, un aumento en el contenido de agua del suelo reduce la tensión y se nota una baja en la escala de lecturas. El tensiómetro sigue registrando fluctuaciones del contenido de humedad en el suelo, hasta que dicha tensión exceda a 0.85 atmósferas, punto en el cual el aire penetra y el instrumento deja de funcionar. (7,8,13,18,26)

Las mediciones con tensiómetro, sirven para determinar el momento del riego en cultivos en los cuales la frecuencia de riego es muy alta (mayor número de riego, menor intervalo de riego, en la mayoría de los sistemas de riego presurizado), pudiendo también conocerse el porcentaje de humedad de mayor importancia existente en el suelo, para ello se requiere efectuar la determinación de la curva de retención de humedad del suelo y el esfuerzo de la humedad del suelo realizado en el rango de 10 a 80 centibar de potencial mátrico, de tal modo que permita relacionar las lecturas obtenidas en el tensiómetro con los porcentajes de humedad del suelo. Esto es lo que se conoce como calibración de tensiómetros. (16,22,23)

Como se mencionó anteriormente los tensiómetros han sido utilizados para determinar el momento de riego. En la actualidad los tensiómetros han diversificado su uso, están siendo utilizados para la extracción de solución del suelo (análisis de fertilidad), para monitoreos continuos de

infiltración (Ahuja et. al. 1979), y para observar la variabilidad espacial del agua en el suelo, con la finalidad de determinar el flujo del agua (Wierenga et. al. 1981). (1,2,24,29)

OPERACION, INSTALACION Y MANTENIMIENTO DEL TENSIOMETRO

1.- Hay que tener cuidado de no golpear el manómetro y de no tocar con grasa la cápsula de cerámica porosa ya que puede obstruir los poros de la misma.

2.- Preparar una solución con agua y anilina, azul o verde conforme a las instrucciones del fabricante. Esta solución inhibe la formación de algas dentro del tensiómetro y además se detecta más fácilmente la acumulación de aire. El agua sin anilina también puede ser utilizada, llenando completamente el tensiómetro.

3.- Llenar completamente con la solución el tubo central del tensiómetro, y dejarlo en posición vertical hasta que la solución sature completamente la cápsula porosa y empiece a escurrir. Cuando la cápsula porosa es humedecida, hay que llenar el tensiómetro completamente hasta el tapón y con la bomba de vacío manual, provocar un vacío dentro del mismo, después de cada extracción de aire, rellenar con agua el tensiómetro completamente. Esta labor deberá repetirse hasta que no se presenten burbujas de aire en el tubo central del tensiómetro. La unidad es tapada, y el manómetro deberá estar marcando cero.

Instalación: hacer una barrenación en el suelo, procurando que esta sea aproximadamente del mismo diámetro y longitud del tubo del tensiómetro, para tener así la longitud deseada, y lograr un contacto entre la cápsula porosa y el suelo. El tensiómetro es entonces introducido en el suelo, dejando de 5 a 7.5 cm aproximadamente entre la superficie del suelo y el manómetro.

El suelo es apisonado en la superficie alrededor de la unidad, para prevenir que el agua de la superficie escurra hacia abajo alrededor de la cápsula de cerámica porosa.

Para que el tensiómetro funcione adecuadamente hay que tener en cuenta, que la cápsula de cerámica porosa este en contacto completamente con el suelo.

Inmediatamente después de la instalación, las lecturas no son confiables debido a la disturbancia que se ha causado en el suelo por el proceso de instalación, por lo que debemos esperar por lo mínimo 24 horas, para tener lecturas correctas y confiables.

Servicio en el campo: hay que estar revisando periódicamente y llenar la unidad si las lecturas son altas y sobre todo si se tiene una baja en el líquido del tubo central de la unidad. Aún sin embargo, debemos considerar que el tensiómetro tiene flujo bidireccional (flujo hacia afuera y hacia adentro) cuando se utiliza en cultivos anuales o en frutales caducifolios y que ya no se esten

haciendo observaciones, es conveniente retirarlos del campo y dar un servicio de mantenimiento, no debiendo dejarse con agua y expuestos al sol. (25,26,27)

Las profundidades recomendadas para la colocación de los tensiómetros se muestran en el siguiente cuadro.

CUADRO 1.- Relación entre la zona radicular y la profundidad de operación del Tensiómetro.

Profundidad del suelo o zona radicular activa. (metros)	Profundidad del Tensiómetro. (metros)
0.45	0.30
0.60	0.45
0.90	0.60
1.20 ó más	0.90

PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TENSIOMETRO.

Entre las ventajas tenemos que, es práctico y rápido para la toma de lecturas del valor del potencial mátrico, se pueden tomar lecturas a diferentes profundidades, ya que se fabrican tensiómetros de diferentes longitudes, requiere de poca mano de obra para su operación, instalación y mantenimiento, el costo promedio es relativamente bajo aproximadamente \$150,000.00 por unidad, incluyendo operación, instalación y mantenimiento, el tensiómetro puede durar 6 años, con un buen programa de mantenimiento, (retirarlos del campo, cuando no se esten utilizando, o cuando se termine la temporada del cultivo en el cual se

esten utilizando), posteriormente hay que lavarlos, limpiarlos, probar las cápsulas y los manómetros.

Las desventajas más importantes son: requiere de una cuidadosa operación y mantenimiento, también están sujetos a daños por heladas, aunque este riesgo puede disminuirse agregando al tensiómetro una solución de metanol al 30 %, ya que este baja el punto de congelación a - 18.8 grados centígrados. También pueden interferir las labores de campo, las fugas de aire, y a veces las cápsulas de cerámica porosa defectuosas. (3,20,29)

Aún cuando el rango de medición del tensiómetro se considera una limitante, en la actualidad existen equipos en proceso que terminan con esta limitante, como es el caso del tensiómetro dieléctrico propuesto por Hilhorst M. A. et al., (1988) en Holanda, en el cual el rango de medición va desde 0.1 hasta 10 bar de potencial mátrico. (9,16,30)

MATERIALES Y METODOS

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Irrigación de la Escuela de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, localizada en el Km 21 de la carretera a Bahía Kino, Hermosillo, Sonora, México.

Los suelos utilizados en el estudio fueron recolectados en diferentes regiones del Estado de Sonora, como son: Valle del Yaqui, Valle del Mayo y Costa de Hermosillo.

La localización de los sitios de muestreo, se hizo mediante información proporcionada por los distritos de riego de cada región (planos de texturas y salinidad). Tomándose en cuenta además un reconocimiento de campo, donde observamos tipos específicos de suelo (textura).

Para realizar el muestreo de suelos se utilizaron barrenas tipo california o de caja de 4" de diámetro. Tomándose muestras en el espesor 0 - 30 cm, recolectándose alrededor de 3 Kg de suelo. Posteriormente las muestras se secaron al aire y se tamizaron con una malla de 2 mm de diámetro.

DETERMINACIONES QUIMICAS

Las determinaciones químicas que se hicieron fueron para evaluar la salinidad del suelo, hechas mediante el

análisis de los extractos acuosos de los suelos en una relación suelo-agua 1:5, siendo las siguientes: pH, C.E. en mmhos/cm a 25 grados centígrados, y la metodología empleada fue la recomendada por el Personal del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (Cuadro 3).

DETERMINACIONES FISICAS

Las determinaciones físicas fueron: En cuanto a composición mecánica del suelo (textura), se utilizó el método del hidrómetro de Bouyoucos (cuadro 3). Y la determinación de la curva de retención de humedad en el suelo, comprendida en el rango de 10 a 100 centíbar de potencial mátrico, para cada textura de suelo en estudio, utilizando para ello, el método de la olla de presión (Cuadro 4).

PREPARACION DE LAS MUESTRAS DE SUELO

El suelo previamente tamizado se puso en platos de cerámica porosa de 1 bar, utilizando anillos de retención de 1 cm de alto por 6 de diámetro, saturando con agua las muestras de suelo, posteriormente se pasaron a la olla de presión, colocando los drenes para su extracción, y aplicándole una corriente de aire a diferentes presiones.

Después de que haya cesado el drenaje completamente (período de extracción), las muestras se sacan y se pasan a frascos de vidrio ("gerber"), siendo estos pesados en una balanza digital, para realizar posteriormente el secado en

la estufa a una temperatura de 110 grados centígrados durante 24 horas o hasta obtener peso constante. Finalmente calcular el valor del porcentaje de humedad en base a peso de suelo seco que corresponda a ese potencial mátrico expresado en bars o en Kilogramos por centímetro cuadrado, utilizando para ello la expresión:

$$\theta \% = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100$$

Donde:

θ % = Contenido de humedad expresado en porciento en base a peso de suelo seco.

Psh = Peso de suelo humedo expresado en gramos.

Pss = Peso de suelo seco expresado en gramos.

Para la determinación del contenido volumétrico se utilizó la expresión:

$$\theta v = Pt * \theta$$

$$Pt = Vs * da$$

$$Vs = S * P$$

Donde:

θv = Contenido volumétrico en metros cúbicos por hectárea a 30 cm de profundidad.

Pt = Peso total del suelo en ton/ha.

θ = Contenido de humedad en porciento en base a peso de suelo seco.

Vs = Volumen de suelo en metros cúbicos/ha/profundidad.

da = Densidad aparente en gramos por centímetro cúbico

S = Superficie en metros cuadrados

P = Profundidad del espesor en cm

Cabe aclarar que para el cálculo del volumen se utilizaron valores de densidad aparente obtenidos de tablas, ya que éstos no fueron obtenidos en el campo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de las Muestras de Suelo.

Al efectuar los análisis físico-químicos de los suelos por los métodos citados anteriormente, se determinaron diez tipos de textura diferente mismos que resultaron sin problemas de salinidad y con valores de pH normales (los resultados de estas determinaciones se encuentran en el cuadro 3). De tal manera que las curvas de retención de humedad del suelo fueron obtenidas sobre suelos normales.

Se efectuó además el análisis de regresión simple utilizando el método de mínimos cuadrados para cada una de las texturas, siguiendo el modelo matemático exponencial, cuya ecuación es la siguiente:

$$Y = a * X^b$$

Donde:

Y = al contenido de humedad expresado en porcentaje en base a peso de suelo seco.

X = al valor del potencial mátrico en bars.

a , b son las constantes

Para efectuar el análisis de regresión se utilizó el paquete de computadora Quattro.

Los valores de las ecuaciones para cada una de las texturas se presentan en el siguiente cuadro:

T E X T U R A	PARAMETROS		COEFICIENTE DE DETERMINACION
	a	b	
ARENA	3.09	-0.3252	0.94
ARENA FRANCO	9.47	-0.2086	0.98
FRANCO ARENOSO	17.41	-0.2509	0.96
FRANCO	13.70	-0.2878	0.97
FRANCO ARCILLO ARENOSO	30.31	-0.1656	0.98
FRANCO ARCILLOSO	27.96	-0.1493	0.95
FRANCO LIMOSO	22.96	-0.1963	0.97
FRANCO ARCILLO LIMOSO	30.48	-0.1644	0.95
ARCILLO ARENOSO	31.71	-0.1340	0.96
ARCILLOSO	30.20	-0.1435	0.98

Las ecuaciones resultantes como puede observarse tienen un alto coeficiente de determinación, lo que demuestra la buena correlación entre las variables para el rango establecido en el presente trabajo.

Las curvas características de retención de agua en el suelo nos indican una relación no lineal entre el contenido de agua y el potencial mátrico, siendo una relación de tipo geométrica entre dichas variables, y se coincide con James, Hanks, Jurinak (1982).

En las curvas de retención obtenidas para cada una de las texturas en forma general pueden observarse dos tendencias perfectamente marcadas:

La primera es una sección vertical en la curva que representa una situación donde el suelo contiene un número grande de poros de un tamaño particular, de tal manera que cuando una presión es aplicada, esos poros pueden desalojarse totalmente con pocos cambios en el valor de la presión, así que sucede un cambio grande en el contenido de humedad con un cambio extremadamente pequeño en la tensión.

La segunda tendencia observada en la curva es una sección horizontal que presenta una situación donde los cambios unitarios de presión no se traducen en grandes cambios en el contenido de humedad, por el contrario estos son pequeños, pero no por esto no son significativos.

De tal manera que la pendiente de la curva de retención es indicativa del tamaño y de la distribución de los poros en el suelo, coincidiendo con Rawling, Gardner (1967).

CONCLUSIONES

- 1.- Las ecuaciones obtenidas pueden ser utilizadas para estimar los contenidos de humedad del suelo para el rango de 0.1 - 1.0 bars de potencial mátrico para las diferentes texturas.

- 2.- A pesar de que los valores de contenido de humedad en base a peso de suelo seco para una textura pudieran no presentar diferencias significativas cuando determinamos los volúmenes de agua que corresponden a cada caso, nos damos cuenta que los mismos son significativos, máxime si consideramos superficies mayores que una hectárea (caso considerado en el presente trabajo).

Por ejemplo en el cuadro 4, si tomamos la textura arenosa, para valores de potencial de 0.4 y 0.6 los contenidos de humedad en base a peso presentan una diferencia de 0.28, lo que podría pensarse en que son no significativos; más sin embargo, en el cuadro 5, para los mismos valores de potencial tenemos que hay una diferencia en el contenido volumétrico de 13.86 metros cúbicos por hectárea considerando solamente 30 cm de profundidad.

- 3.- Cuando se utilicen Tensiómetros para determinar el momento de riego y el volumen de agua por aplicar es

necesario determinar la curva de retención de humedad del suelo, ya que no es posible utilizar para todas las texturas una sola curva. Por ejemplo para la textura arenosa y textura franco a un mismo valor de potencial (0.5), los valores de contenido de humedad son: 4.01 y 16.37 respectivamente (Cuadro 4).

RECOMENDACIONES

1.- Probar las ecuaciones para condiciones de campo, es decir, estimar el valor del contenido de humedad por medio de las mismas y compararlo con los valores de campo obtenidos gravimétricamente.

2.- Se recomienda en posteriores investigaciones el utilizar muestras inalteradas de suelo. Mismas que deberán ser obtenidas utilizando el cilindro de volúmen conocido, para la determinación de la densidad aparente.

3.- En el caso de efectuar la calibración de tensiómetros bajo condiciones de campo se recomienda instalarlos a profundidades en las cuales la condición del valor de la densidad aparente no sufra modificaciones (labores culturales), por lo menos durante el tiempo en que dure dicha calibración.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Ahuja, L. R., S. A. El-Swaify and A. Rahman. 1976. Measuring Hydrologic Properties of Soil with a Double-ring Infiltrometer and Multiple-Depth. Soil Sci. Am. J., Vol. 40. pp. 494-499.
- 2) Ahuja, L. R., J. W. Naney and R. D. Williams. 1985. Estimating Soil Water Characteristics from Simpler Properties or Limited Data. Soil Sci. Am. J., Vol. 49. pp. 1100-1105.
- 3) Alcántar, V. Fernando. 1987. Uso del tensiómetro para determinar el contenido de humedad del suelo y el momento del riego. Seminario de la Especialidad de Irrigación de la Escuela de Agricultura y Ganadería. UNI-SON. Hermosillo, Son. Mex.
- 4) Chow, T.L. 1977. Fritted glass bead materials as tensiometer and tension plates. Soil Sci. Am. J. vol. 41 pp 19 - 22.
- 5) De Backer, L. and Klute, A. 1966. Comparison of pressure and suction methods for soil - water content - pressure - head determinations. Soil Science vol. 104 No. 1 pp 46 - 51.
- 6) De la Peña, I. 1978. El Buen Uso y Manejo del Agua de Riego. Cd. Obregón Sonora, México. Boletín Técnico No. 8 Comité Directivo del Distrito de Riego No. 41, Tomo 1. pp. 48-49. S.A.R.H.
- 7) Estados Unidos de América. 1978. Relación entre Suelo-Planta-Agua. Servicio de Conservación de Suelos. Dpto. de Agricultura de los E.U.A. Ed. Diana, 5ta Reimpresión. pp. 79-80.
- 8) Estados Unidos de América. 1980. Relación entre Suelo-Planta-Agua. Servicio de Conservación de Suelos. Dpto. de Agricultura de los E.U.A. Ed. Diana, 6ta Reimpresión. pp. 29, 80-81.
- 9) F.A.O./U.N.E.S.C.O. 1973. Irrigation, Drainage and Salinity. Ed. Hutchinson and co, LTD London. pp 89 - 95.
- 10) Gavande, S. A. 1979. Física de Suelos Principios y Aplicaciones. 3ra Edición. Editorial Limusa. pp. 188-189.

- 11) Gornat y D. Golberg. 1970. Medición de la Tensión del Agua en el suelo, y la Determinación del regimen de riego. Universidad Hebrea, Jerusalem. Facultad de agricultura. Dpto. de Irrigación. pp. 2,4,10. (ORIGINAL NO CONSULTADO).
- 12) Grover, B. L. and R. E. Lamborn. 1970. Preparation of Porous Ceramic Cups to be Used for extraction of Soil Water having low Solute Concentrations. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Vol. 34, pp. 706-708.
- 13) Hilhorst, M. A. and De Jong, J. J. 1988. A dielectric tensiometer agricultural water manegement. vol.13 pp 411 - 415. Netherlands Holanda.
- 14) Hillel, D. and Mottes, J. 1966. Effect of plate impendance, wetting method, and agin on soil moisture retention. Soil Science vol. 102. U.S.A. pp 135 - 139.
- 15) Hill, J. N. S. and M. E. Sumner. 1966. Effects of Bulk Density on Moisture Characteristics of Soil. Soil Science Vol. 103: (4) 234-238.
- 16) Hook, J. E., E. D. Threadgill, and J. R. Lambert. 1984. Corn Irrigation Scheduled by Tensiometer and the Lambert Model in the Humid Southeast. Agronomy Journal. Vol.76. pp. 695-700.
- 17) Huber, M. J. and C. Dirksen. 1978. Multiple Tensiometer Flushing System. Soil Sci. Am. J., Vol. 42. pp. 168-170.
- 18) James, D. W. Hanks, R. J. Jurinak, J.J. 1982. Modern irrigated soils ed. John Wile and Sons, Inc. pp 36 - 48. U.S.A.
- 19) Jimyea, T.C. Gelhar, L. W. Wierenga P. J. 1986. Observations of spatial variability of soil - water pressure in a field soil. Soil Science. vol. 142, No.1 pp 7 - 12.
- 20) Nelms, L. R. and L. A. Spomer. 1980. Construction of Serviceable Fast Response Tensiometer From Porous Ceramic Tubes. Agronomy Journal. Vol. 72. pp. 694-695.
- 21) Preciado, F. F. 1988. Apuntes de la materia: Relación agua-suelo-planta., Dpto de Irrigación de la Escuela de Agricultura y Ganaderia de la Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.

- 22) Rodriguez, S. F. 1982. Riego por Goteo. Editor S. A. México. pp. 66-67.
- 23) Rovirosa, W. L. 1971. Medición de la Tensión del agua en el suelo. Boletín Técnico del Comité Directivo Agrícola del Distrito de Riego No. 14. Rio Colorado, B. C. pp. 14-17. (ORIGINAL NO CONSULTADO).
- 24) Savvides, L., Robert S. Ayers and Mahmoud Ashkar. 1977. A Modified Mercury Tensiometer. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 41. pp. 660-661.
- 25) S. A. R. H. 1973. Subsecretaria de Construcción y Dirección de Obras de Riego, para el Desarrollo Rural. Riego por Goteo. Medición de la Tensión del Agua en el Suelo. pp. 2, 21. (ORIGINAL NO CONSULTADO).
- 26) Sidney, W. B. 1977. Riegue Usted..... No Espere. Uso del Tensiometro. Agricultura de las Américas. pp. 18-20, 36, 52-55, 57.
- 27) Soil Moisture Equipment. Corp P. O. Box 30025, Santa Barbara, California 93105, U. S. A. Manual Operating Instructions for the Soilmoisture Tensiometer. pp. 1-5.
- 28) Sykes, D. J. and Walter Loomis. 1966. Plant and Soil Factor in Permanent Wilting Percentages and Capacity Storage. Soil Science. Vol. 104. No. 3. pp. 163-172.
- 29) Wendt, C. W. Wilke, O. C. New, L. L. 1978. Use of methanol-water solutions for freeze protection of tensiometer. Agronomy Journal. vol. 70. pp. 890 - 891.
- 30) Wierenga, P. J. 1981. Soil water relations. Apuntes de doctorado. University of Las Cruces New México. U. S. A.

A P E N D I C E

CUADRO 2. Potenciales mátricos a los cuales el agua debe ser aplicada para alcanzar las máximas producciones de varios cultivos desarrollados en suelos profundos, bien drenados que son fertilizados y por otro lado manejados para máximas producciones.

CULTIVOS	POTENCIAL MATRICO (Bars)
<u>Cultivos vegetativos</u>	
Alfalfa	- 1.50
Frijol (judias y habas)	- 0.75 a - 2.0
Repollo	- 0.60 a - 0.70
Chicharos	- 0.30 a - 0.50
Apio	- 0.20 a - 0.30
Pasto	- 0.30 a - 1.0
Lechuga	- 0.40 a - 0.60
Tabaco	- 0.30 a - 0.80
Caña de Azúcar	- 0.15 a - 2.0
Maiz dulce	- 0.50 a - 1.0
Césped	- 0.24 a - 0.36
<u>Cultivos de Raiz</u>	
Cebolla	
- de bulbo	- 0.55 a - 0.65
- tierna	- 0.45 a - 0.55
Remolacha azucarera	- 0.40 a - 0.60
Papa	- 0.30 a - 0.50
Zanahoria	- 0.55 a - 0.65
Brocoli	
- primer corte	- 0.45 a - 0.55
- rebrote	- 0.60 a - 0.70
Coliflor	- 0.60 a - 0.70
<u>Frutales</u>	
Limon	- 0.40
Naranja	- 0.20 a - 1.0
Frutales de hoja caduca	- 0.50 a - 0.80
Aguacate	- 0.50
Vid	
- etapas tempranas	- 0.50
- durante la madurez	< - 0.10
Fresas	- 0.20 a - 0.30
Melon	- 0.35 a - 0.40
Tomate	- 0.80 a - 1.5
Platano	- 0.30 a - 1.5
<u>Cultivos de granos</u>	
Maiz	
- periodo vegetativo	- 0.50
- durante la maduración	- 8.0 a - 12.0

CUADRO 2. Continuación

CULTIVO	POTENCIAL MATRICO (bars)
Granos pequeños	
- periodo vegetativo	- 0.40 a - 0.50
- durante la maduración	- 8.0 a - 12.0
<u>Cultivos para semilla</u>	
Alfalfa	
- antes de floración	- 2.0
- durante floración	- 4.0 a - 8.0
- durante maduración	- 8.0 a - 15.0
Zanahoria	- 4.0 a - 6.0
Cebolla	- 4.0 a - 6.0
Lechuga	- 3.0

NOTA: Cuando son dados dos valores, el valor más alto es usado cuando la demanda evaporativa es alta y el valor menor cuando es baja; valores intermedios son usados cuando la demanda atmosférica para la evapotranspiración es intermedia.

Tomado de Taylor y Ashcroft (1972).

CUADRO 3.- CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DE 18 TEXTURAS DIFERENTES

T E X T U R A	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	C E mmhos/cm	pH
A R E N A	92.5	2.8	5.5	1.2	7.3
ARENA FRANCOSA	81.3	18.82	7.88	1.14	7.1
FRANCO ARENOSO	66.82	27.88	6.18	8.79	7.2
F R A N C O	48.72	38.88	13.28	8.5	7.3
FRANCO ARCILLO ARENOSO	45.82	21.88	33.18	8.8	7.7
FRANCO ARCILLOSO	48.76	23.28	35.96	8.55	7.4
FRANCO LIMOSO	32.78	58.88	15.22	1.75	7.2
FRANCO ARCILLO LIMOSO	17.32	51.28	31.48	8.85	7.2
ARCILLO LIMOSO	14.68	41.64	43.76	8.85	7.2
A R C I L L O S O	17.48	25.28	57.24	8.24	7.1

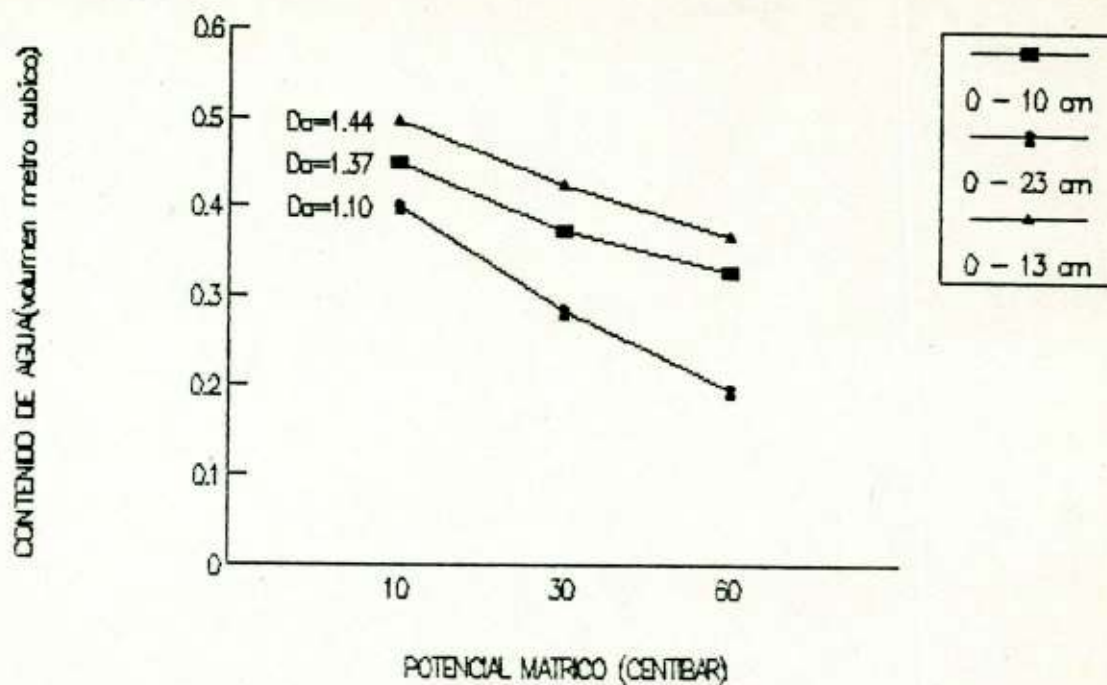
CUADRO 4.- VALORES DE CONTENIDO DE HUMEDAD EXPRESADOS EN % EN BASE A PESO DE SUELO SECO.

T E X T U R A	P O T E N C I A L E S D E P R E S I O N (MBS)									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
A R E N A	6.295	5.695	4.45	4.13	4.01	3.85	3.67	3.41	3.38	2.75
A R E N A F R A N C O S A	15.28	13.46	12.28	11.24	10.77	10.70	10.28	10.12	9.78	9.25
F R A N C O A R E N O S O	32.71	26.15	22.29	20.00	19.88	19.76	19.55	18.91	18.40	17.65
F R A N C O	25.68	22.55	19.57	18.87	16.37	16.15	15.57	15.16	14.19	12.69
F R A N C O A R C I L L O A R E N O S O	44.78	38.76	37.37	34.79	34.11	33.29	32.71	31.67	30.76	29.79
F R A N C O A R C I L L O S O	38.45	34.85	32.25	31.56	31.23	30.42	29.68	29.63	28.47	26.65
F R A N C O L I M O S O	35.59	31.21	28.80	28.32	26.76	26.29	25.44	23.37	22.63	22.53
F R A N C O A R C I L L O L I M O S O	44.43	38.08	37.37	36.76	35.72	33.24	32.71	31.26	30.26	29.83
A R C I L L O A R E N O S O	45.29	38.49	38.00	37.23	35.85	34.47	33.64	32.82	32.68	30.51
A R C I L L O S O	41.45	38.77	35.28	34.76	33.84	33.28	31.35	31.24	30.39	29.89

CUADRO 5.- VALORES DE CONTENIDO VOLUMETRICO EXPRESADO EN METROS CUBICOS/100/30 CM DE PROFUNDIDAD
A DIFERENTES VALORES DE POTENCIAL MATRICO.

T E X T U R A	D.A.	P O T E N C I A L E S D E P R E S I O N (BAIS)									
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
A R E N A	1.65	311.68	281.90	228.28	284.44	198.58	198.58	181.67	168.88	167.31	136.13
A R E N A F R A N C O S A	1.55	786.88	625.89	571.82	522.66	588.81	497.55	475.23	478.58	454.77	438.13
F R A N C O A R E N O S O	1.58	1471.95	1176.75	1063.85	936.88	894.68	889.28	879.75	858.95	828.88	794.25
F R A N C O	1.48	1875.28	947.18	821.94	758.94	687.54	678.38	653.94	636.72	595.98	532.98
F R A N C O A R C I L L O A R E N O S O	1.45	1947.93	1686.86	1625.68	1513.37	1483.79	1448.12	1422.89	1377.65	1338.86	1295.87
F R A N C O A R C I L L O S O	1.45	1672.58	1481.18	1482.88	1372.86	1358.51	1323.27	1291.88	1288.91	1238.45	1159.28
F R A N C O L I N O S O	1.48	1494.78	1318.82	1289.68	1189.44	1123.92	1184.18	1868.48	981.54	958.46	946.26
F R A N C O A R C I L L O L I N O S O	1.35	1799.42	1542.24	1513.49	1488.78	1446.66	1346.22	1324.76	1266.83	1225.53	1288.16
A R C I L L O A R E N O S O	1.38	1766.31	1581.11	1485.12	1451.97	1398.15	1344.33	1311.96	1279.98	1274.52	1189.89
A R C I L L O S O	1.28	1492.28	1395.72	1278.88	1251.36	1218.24	1195.28	1128.68	1124.64	1094.84	1076.84

(a)



(b)

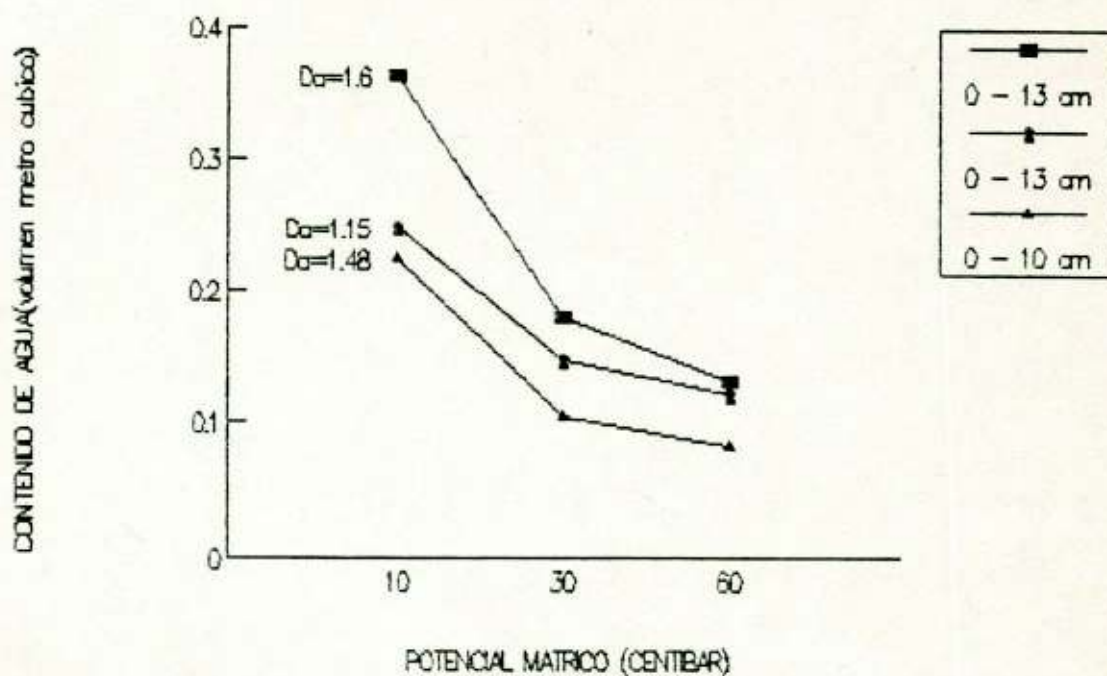


Figura 1.- Relación entre los contenidos volumetricos de agua y sus potenciales matricos para diferentes suelos con diferentes estructuras: (a) suelo franco limoso y (b) limo arenoso fino.

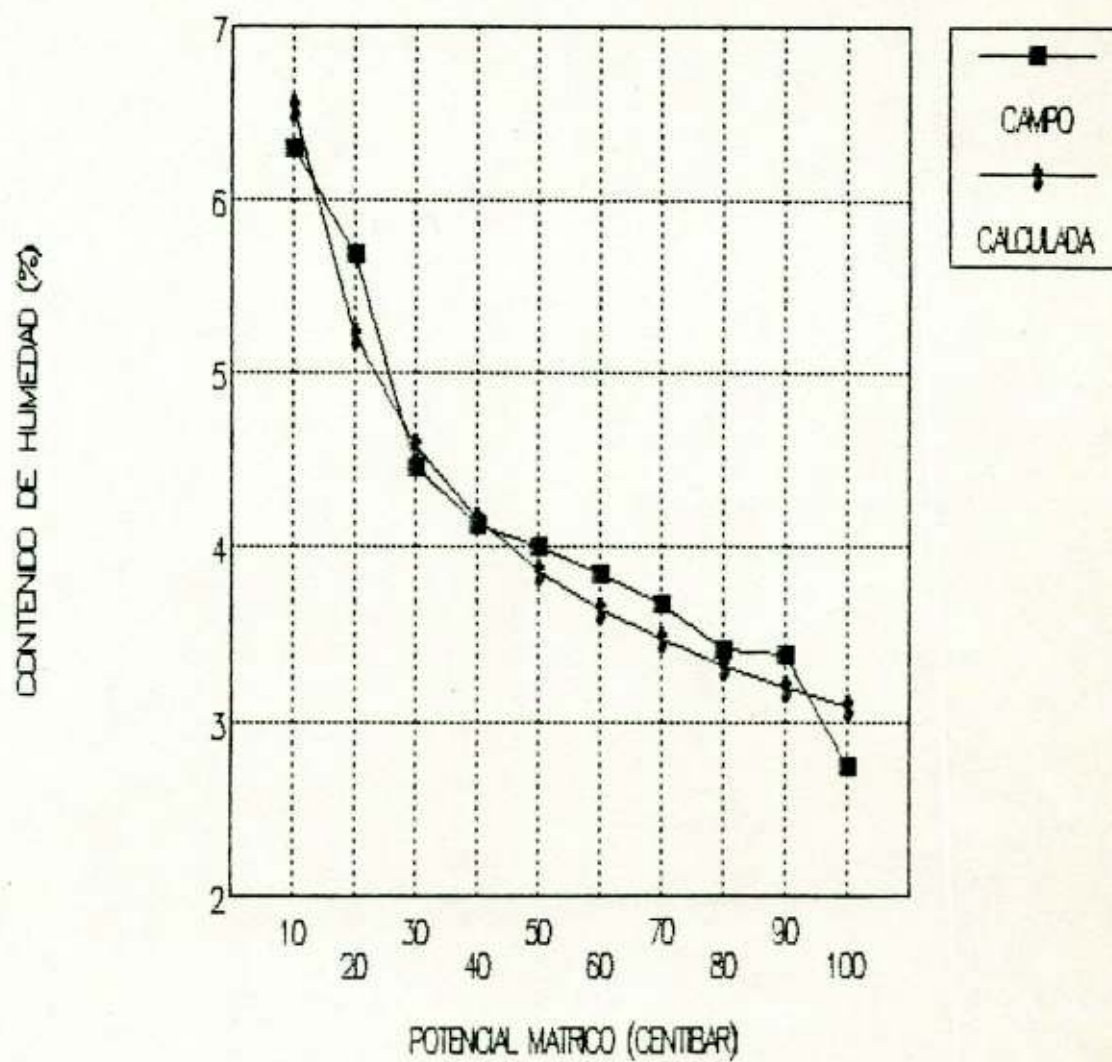


Figura 2. Curva de retención de humedad de un suelo de textura Arenosa.

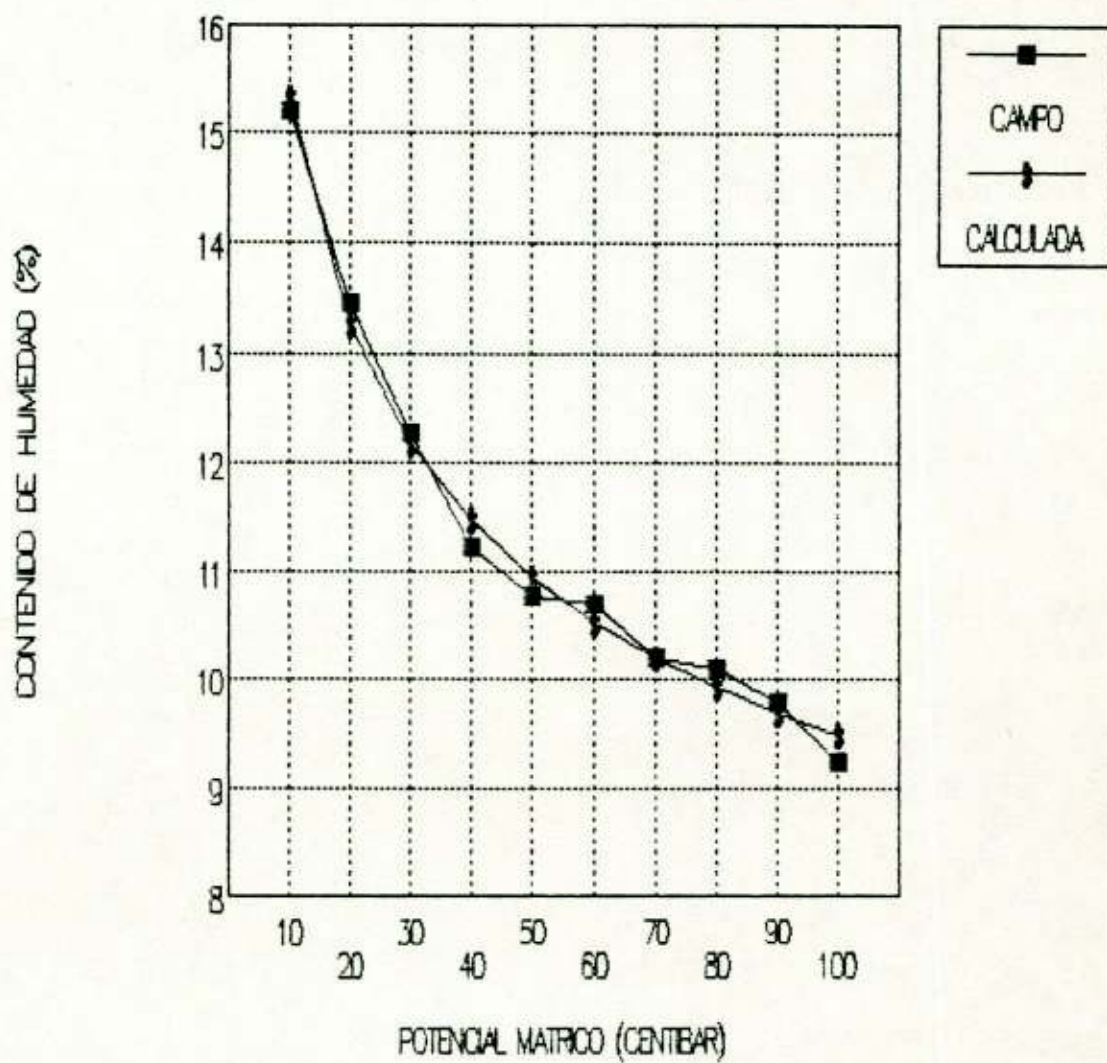


Figura 3. Curva de retención de humedad de un suelo de textura Arena Francosa.

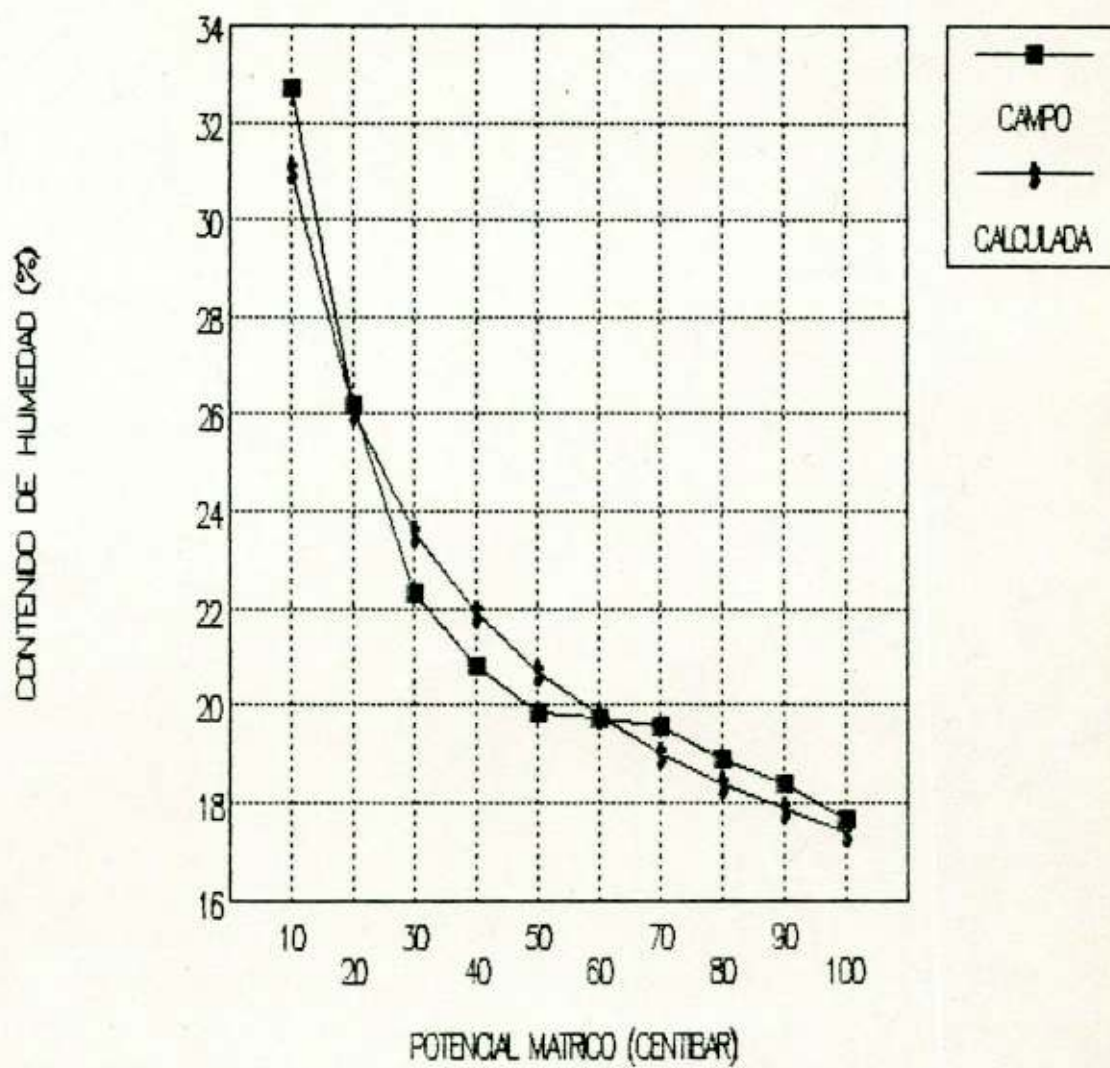


Figura 4. Curva de retención de humedad de un suelo de textura Franco Arenoso.

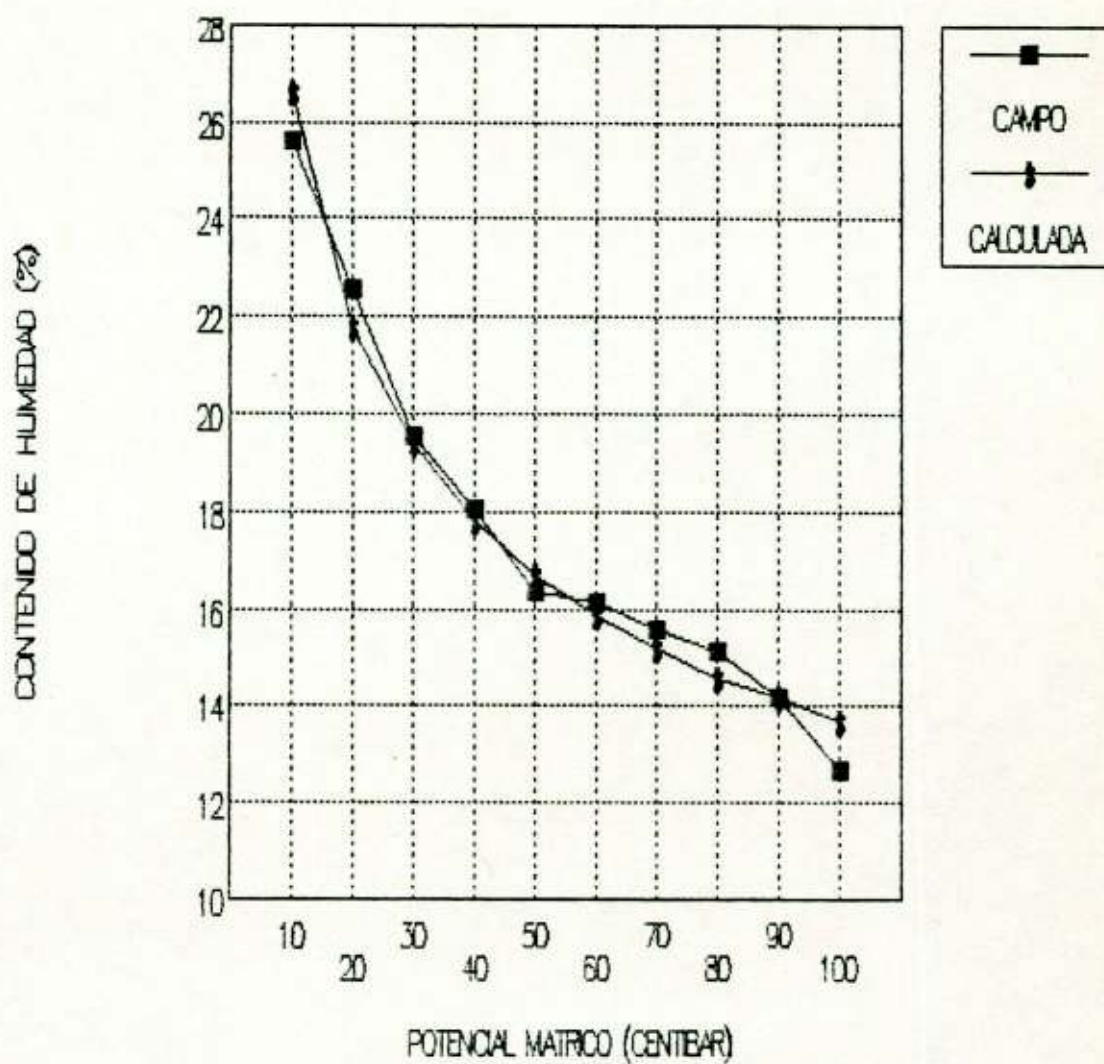


Figura 5. Curva de retención de humedad de un suelo de textura Franco.

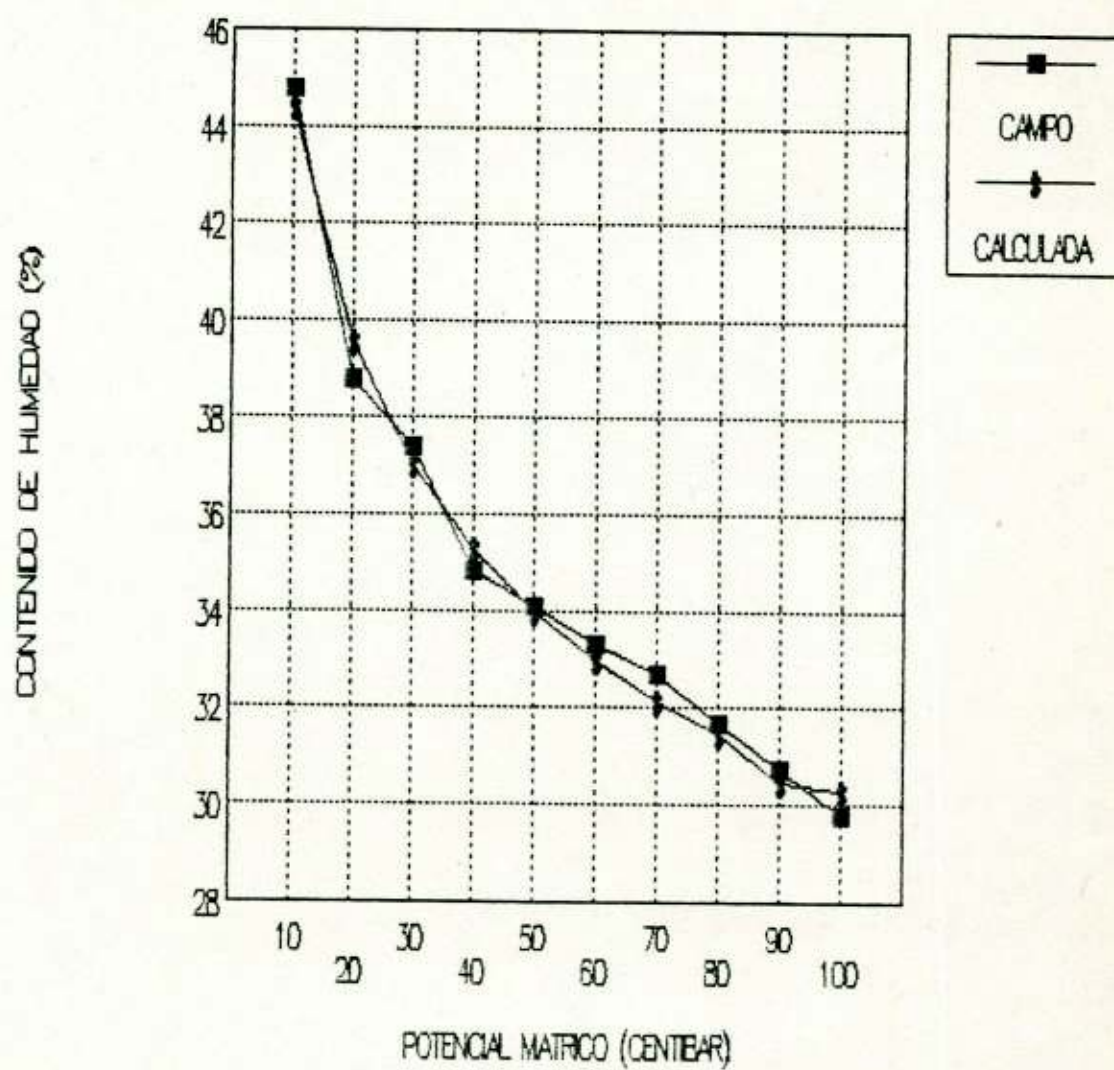


Figura 6. Curva de retención de humedad de un suelo de textura Franco Arcillo Arenoso.

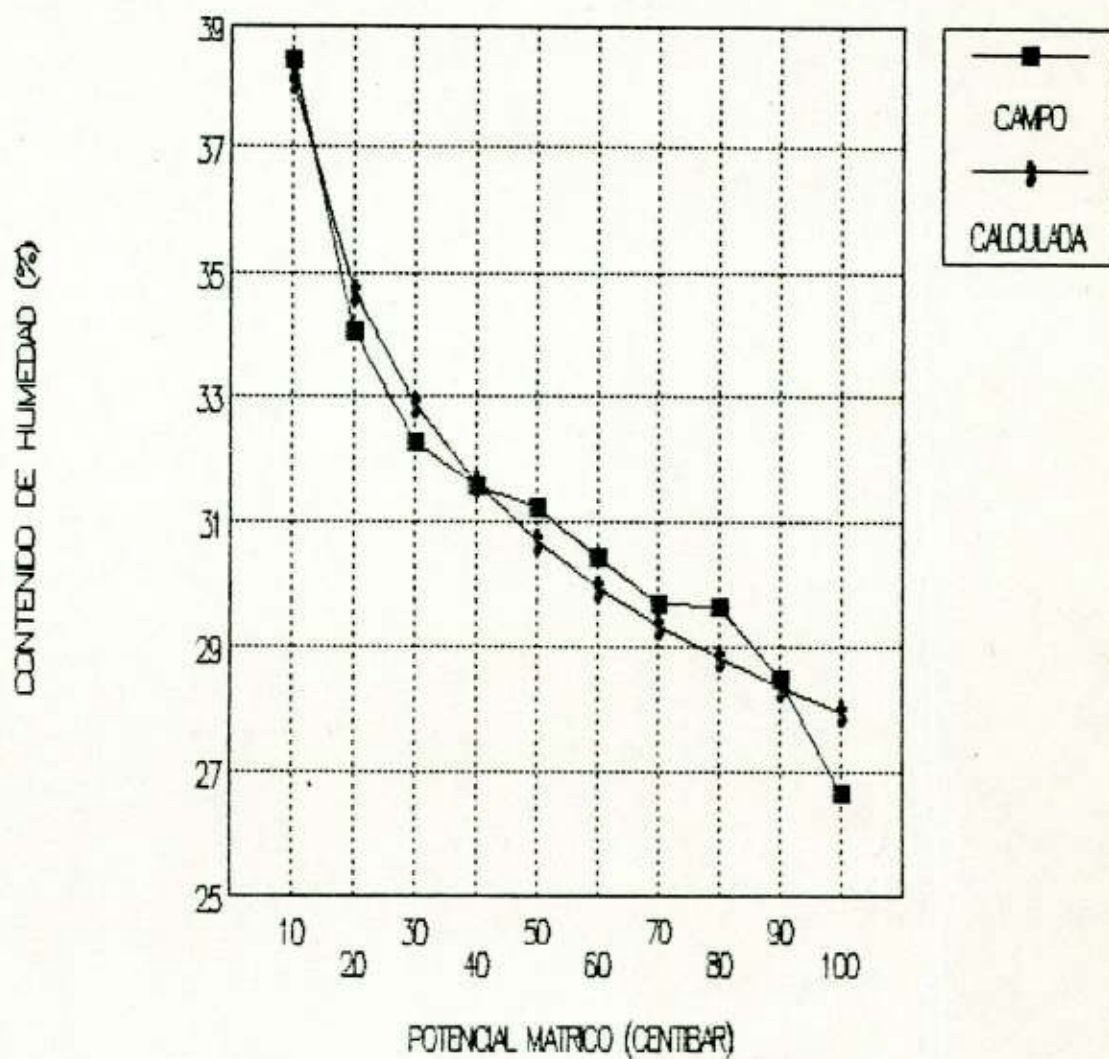


Figura 7. Curva de retención de humedad de un suelo de textura Franco Arcilloso.

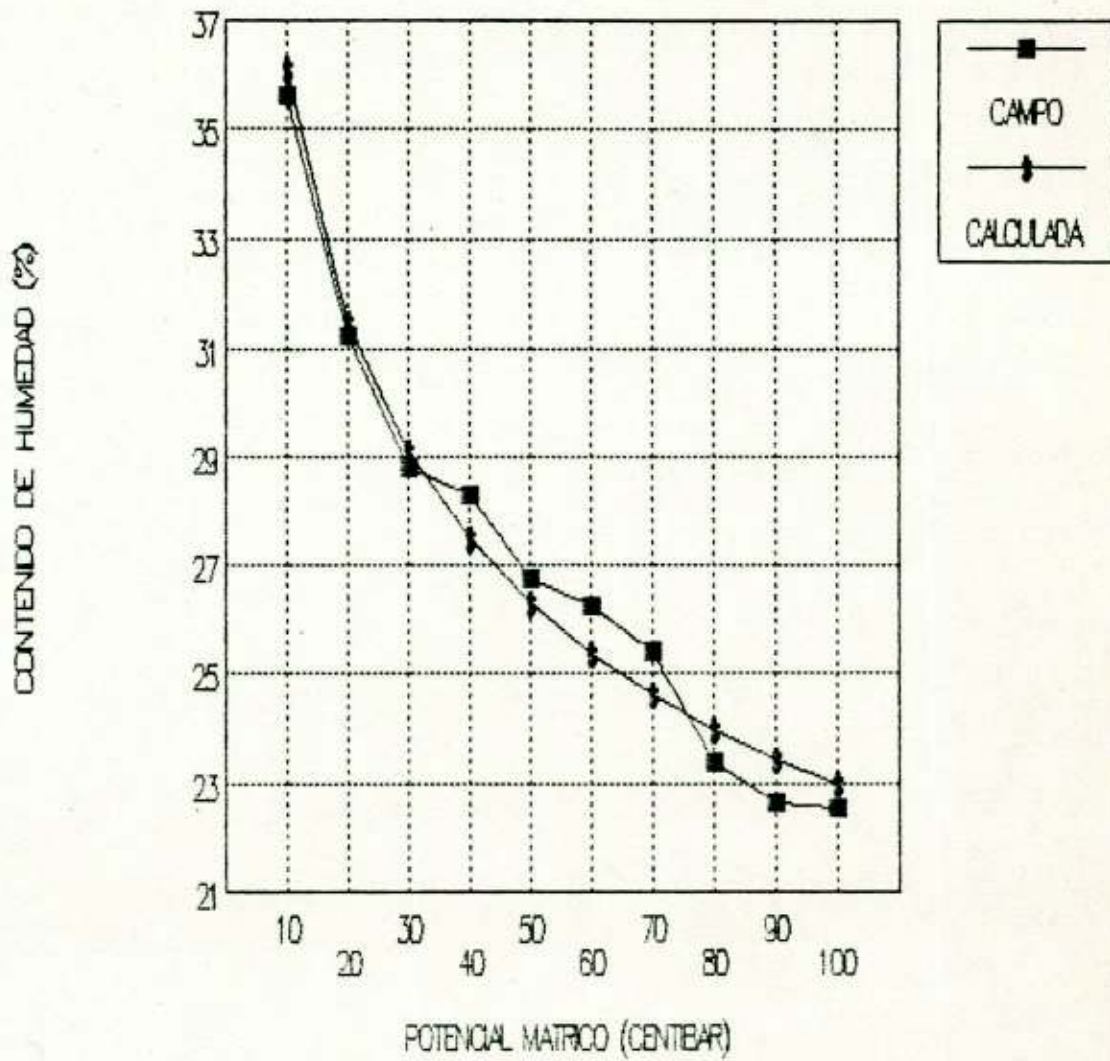


Figura 8. Curva de retención de humedad de un suelo de textura Franco Limoso.

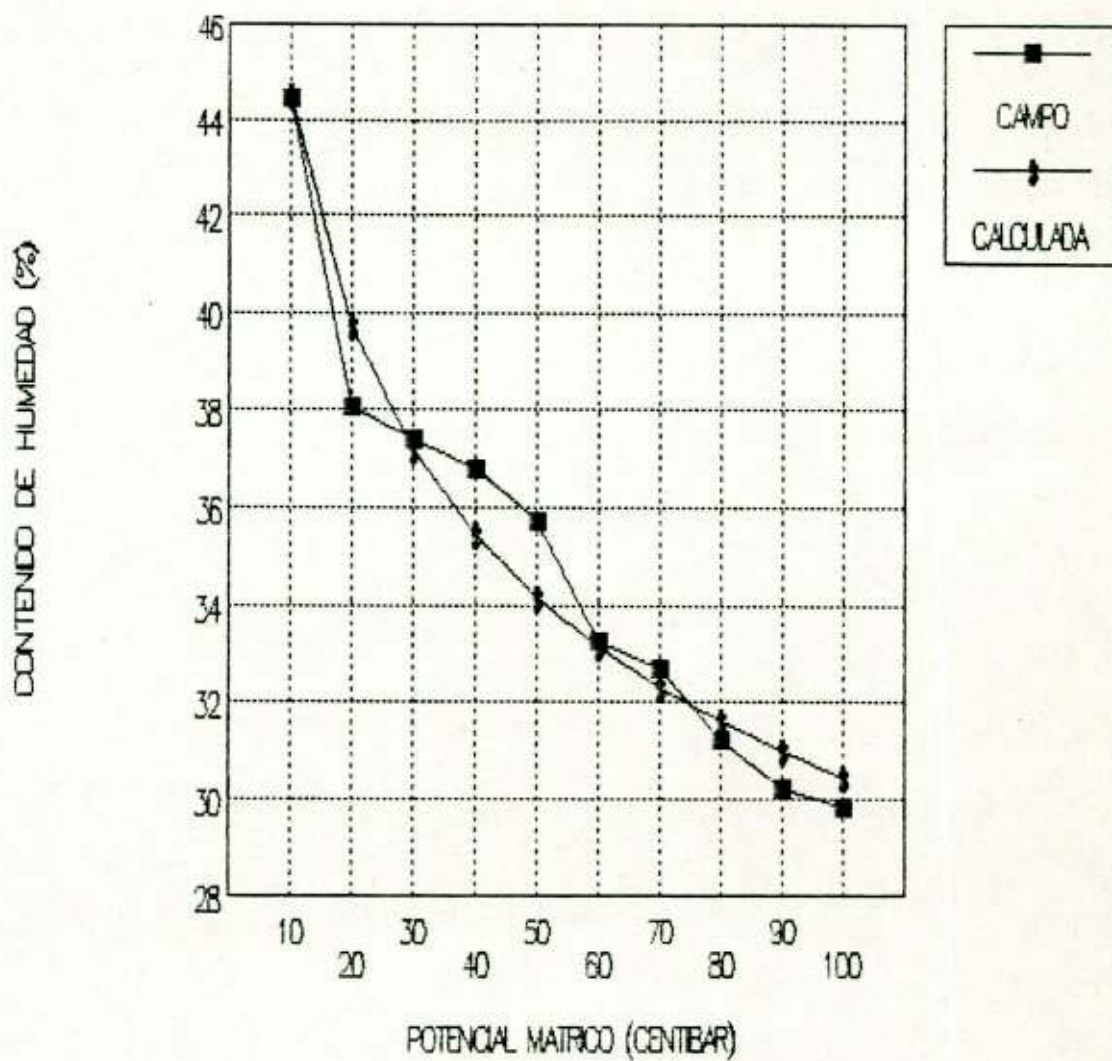


Figura 9. Curva de retención de humedad de un suelo de textura Franco Arcillo Limoso.

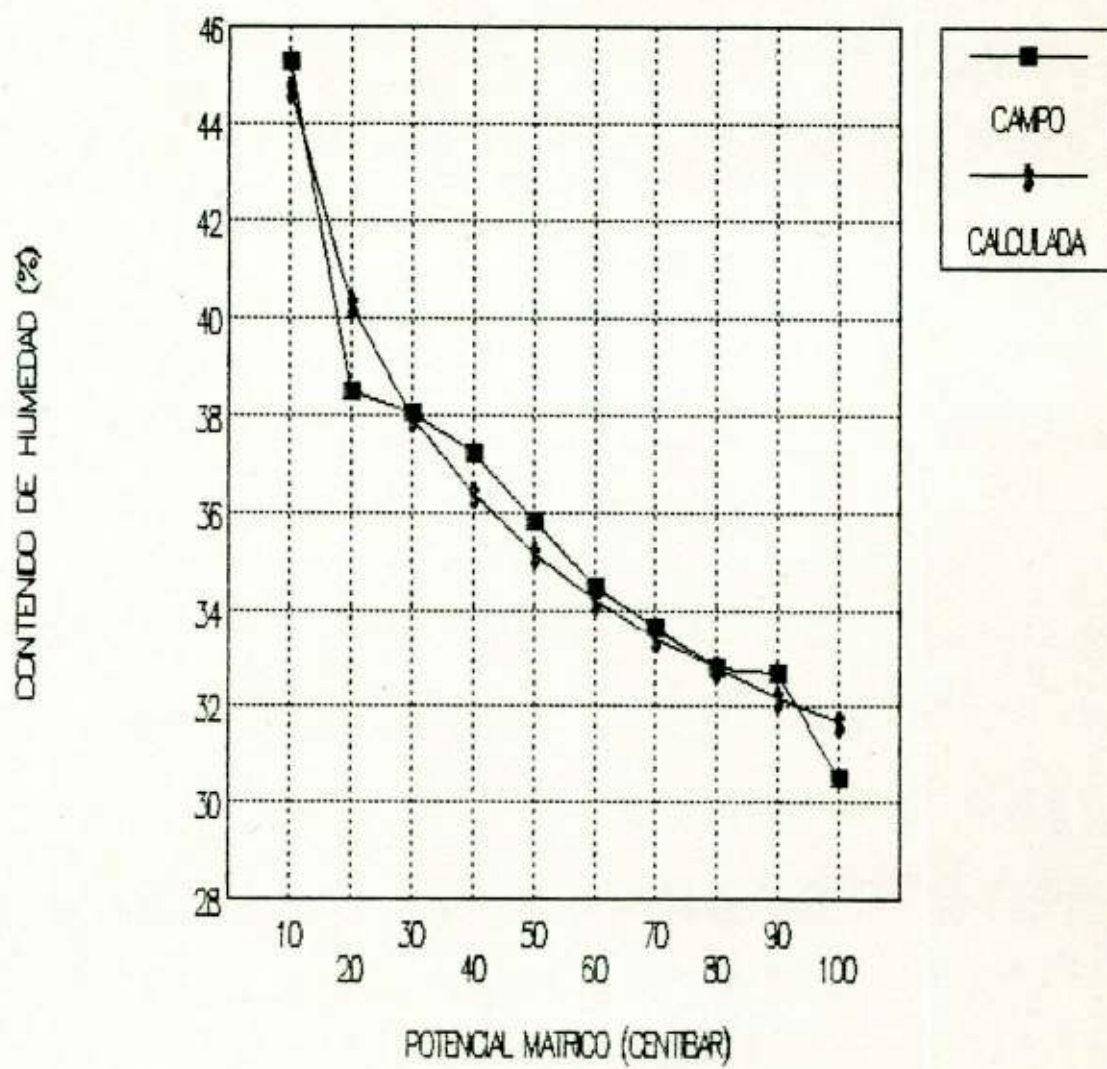


Figura 10. Curva de retención de humedad de un suelo de textura Arcillo Limoso.

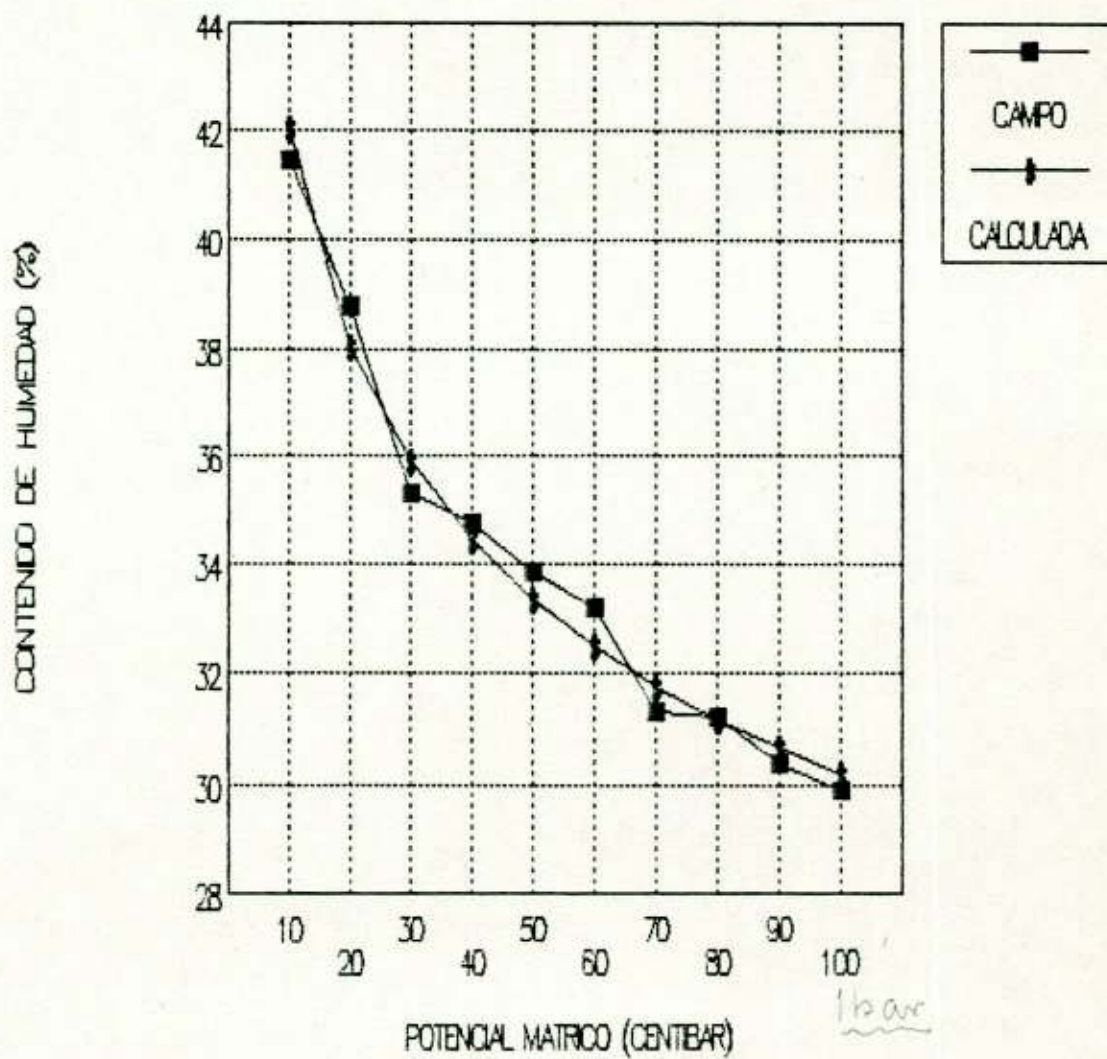


Figura 11. Curva de retención de humedad de un suelo de textura Arcilloso.

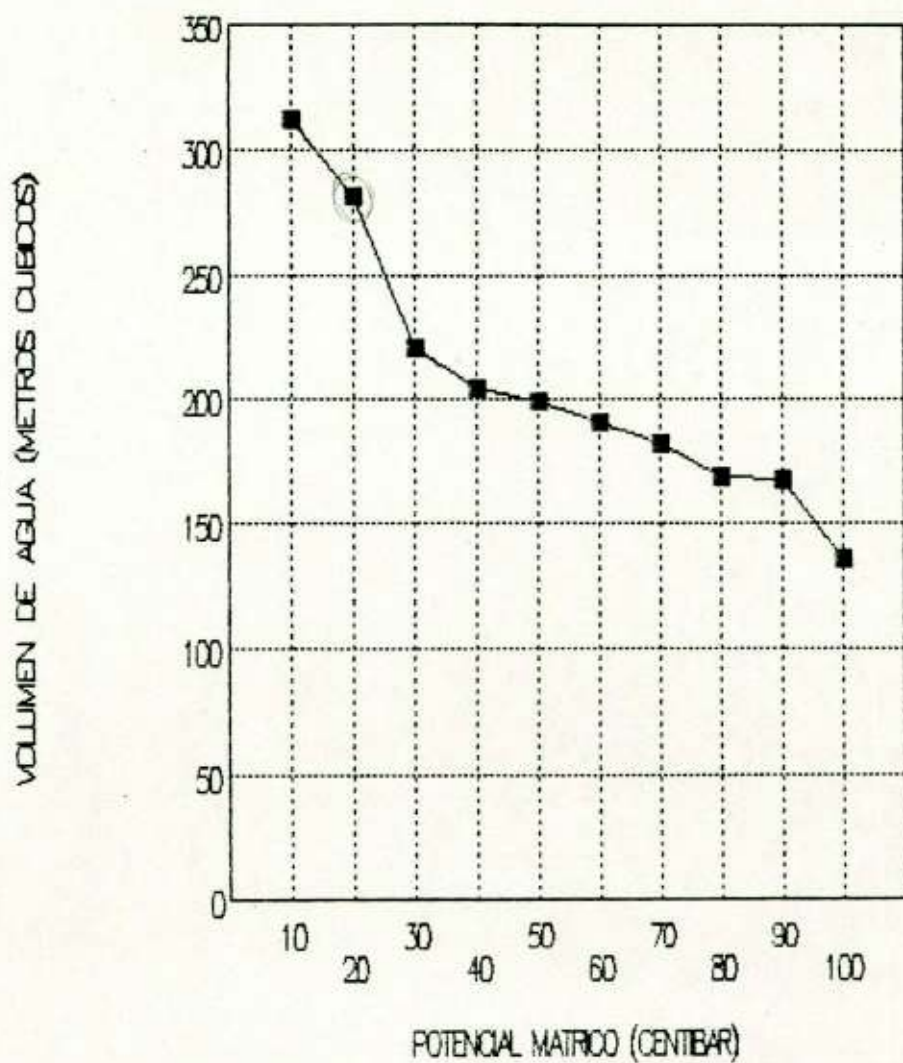


Figura 12. Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo Arenoso.

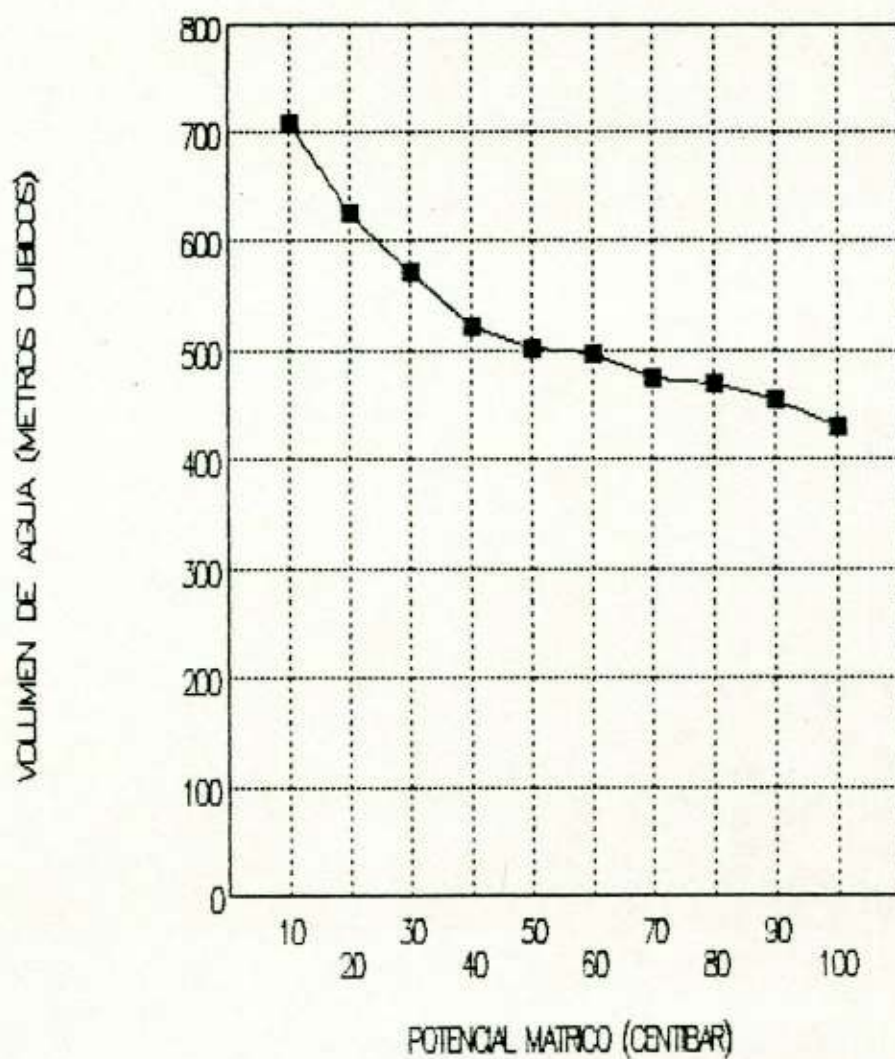


Figura 13. Volúmen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo Arena Francosa.

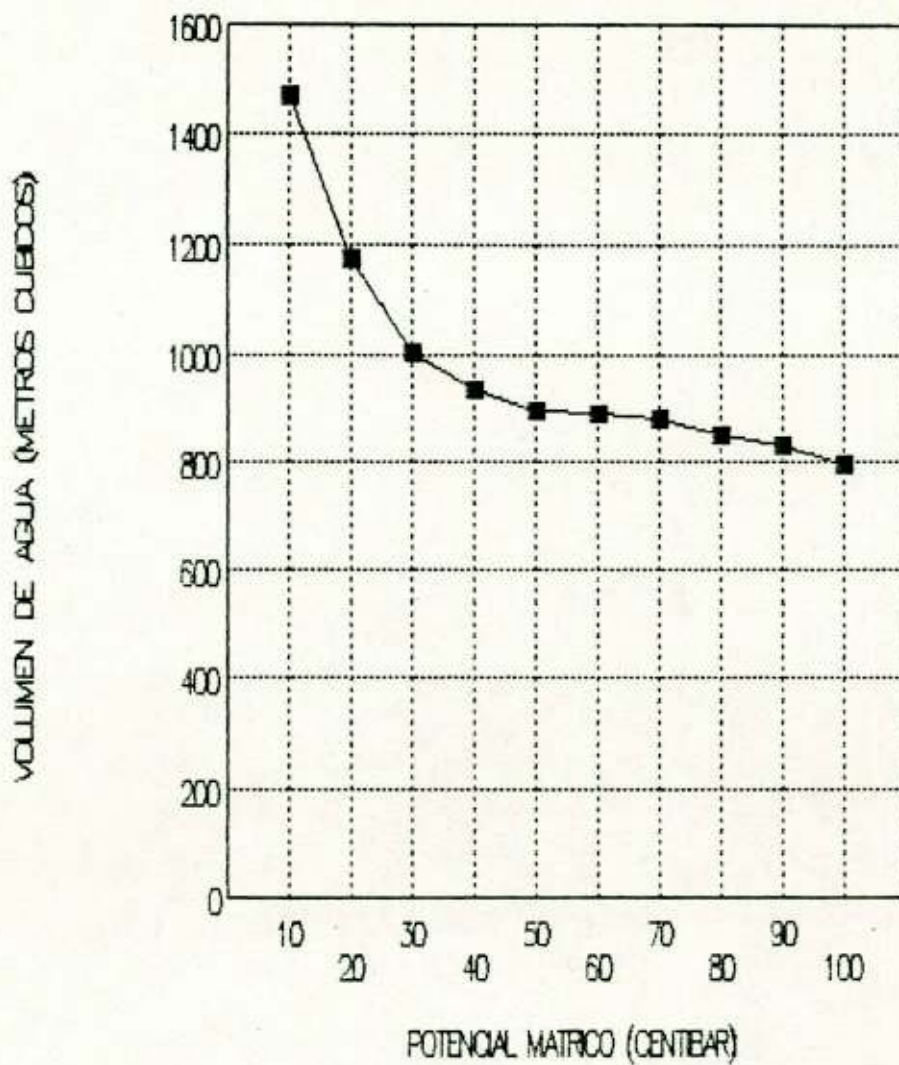


Figura 14. Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo Franco Arenoso.

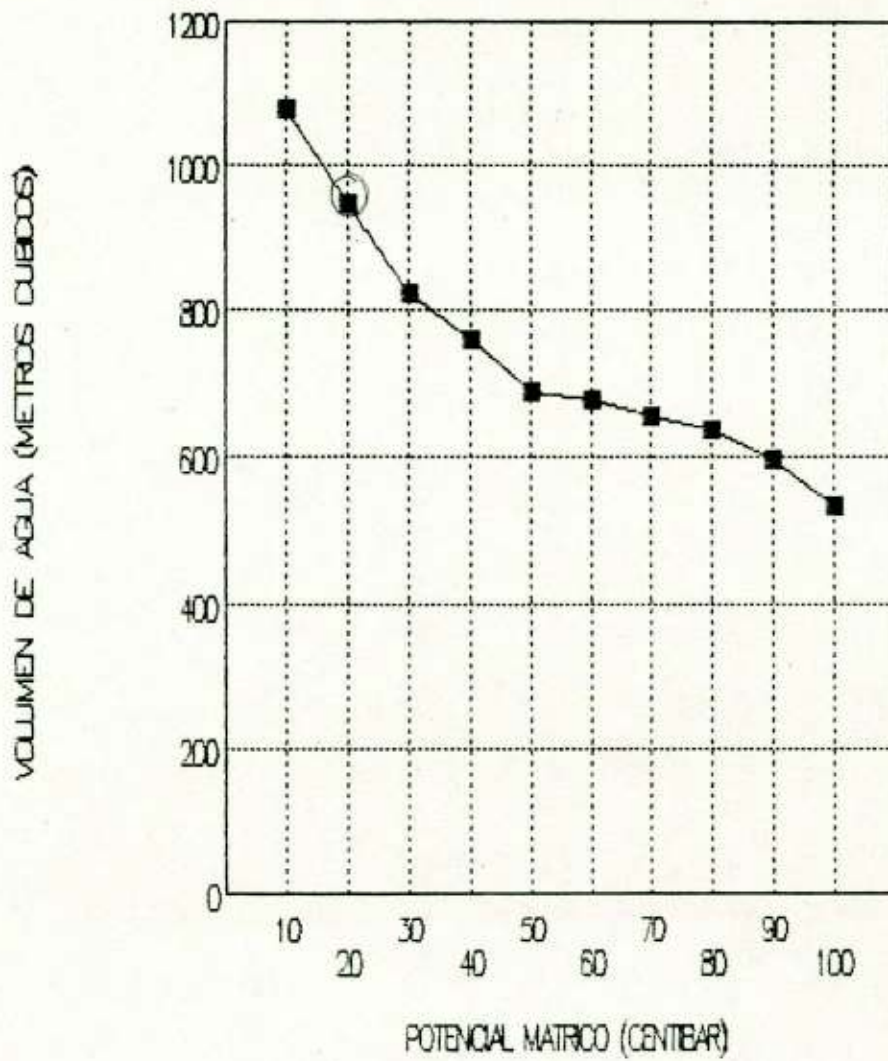


Figura 15. Volúmen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo Franco.

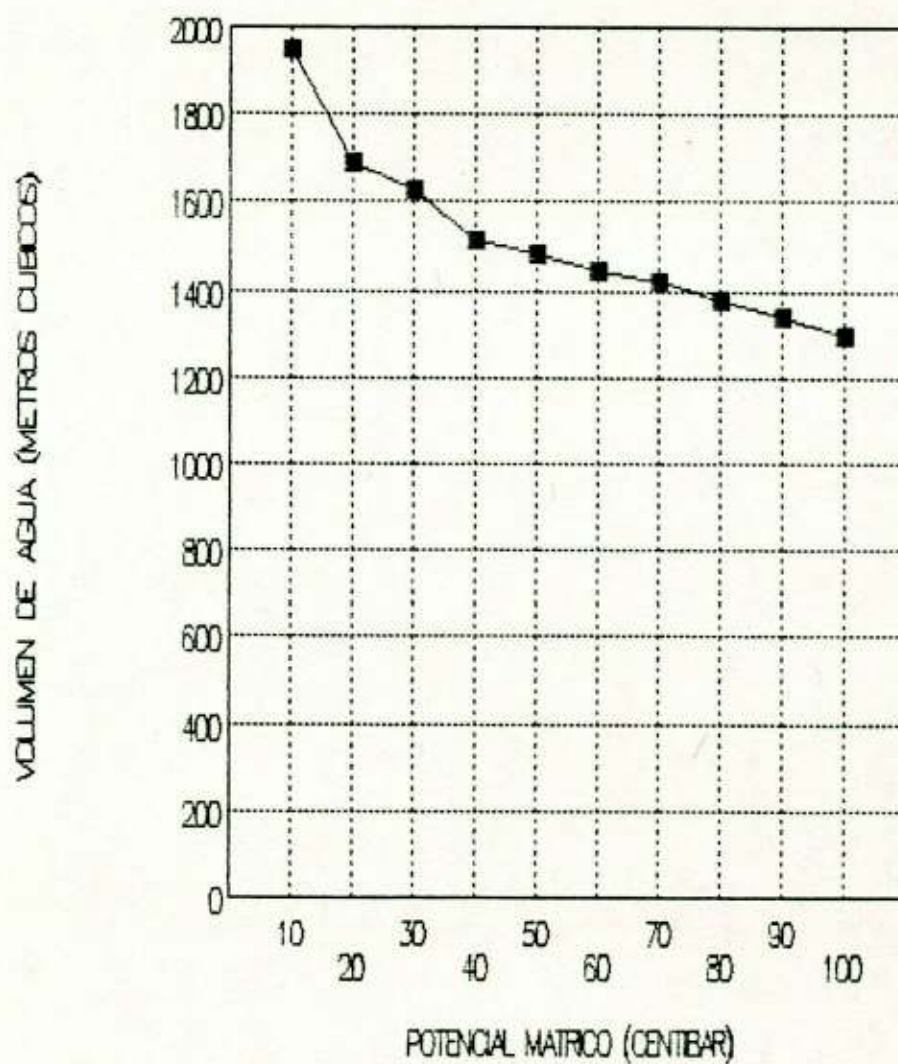


Figura 16. Volumen de agua retenido por hectàrea a 30 cm de profundidad en un suelo Franco Arcillo Arenoso.

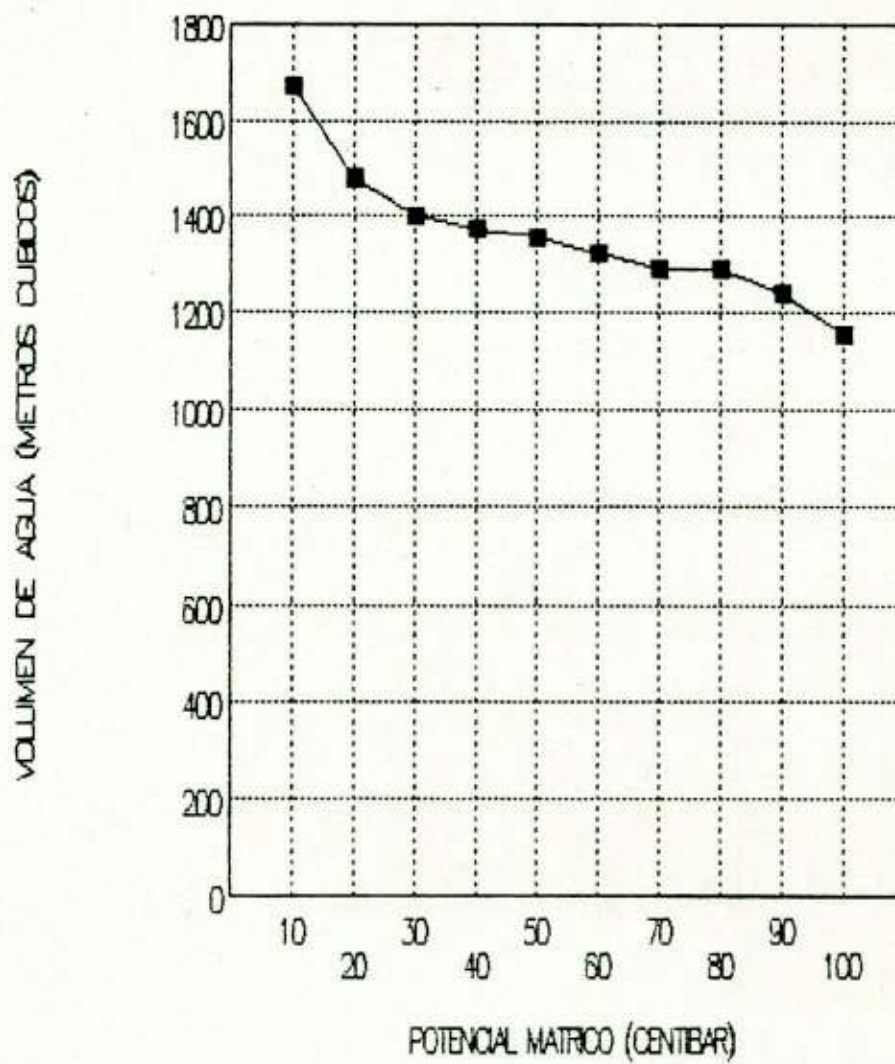


Figura 17. Volúmen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo Franco Arcilloso.

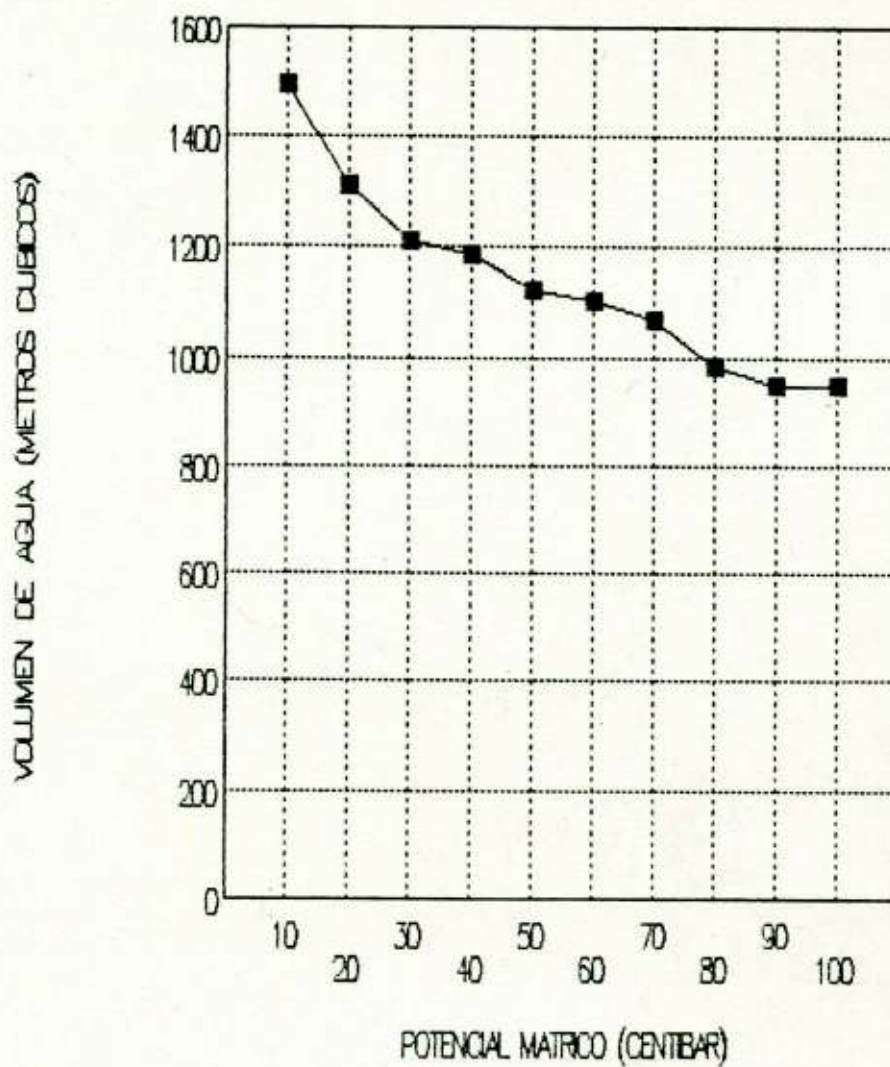


Figura 18. Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo Franco Limoso.

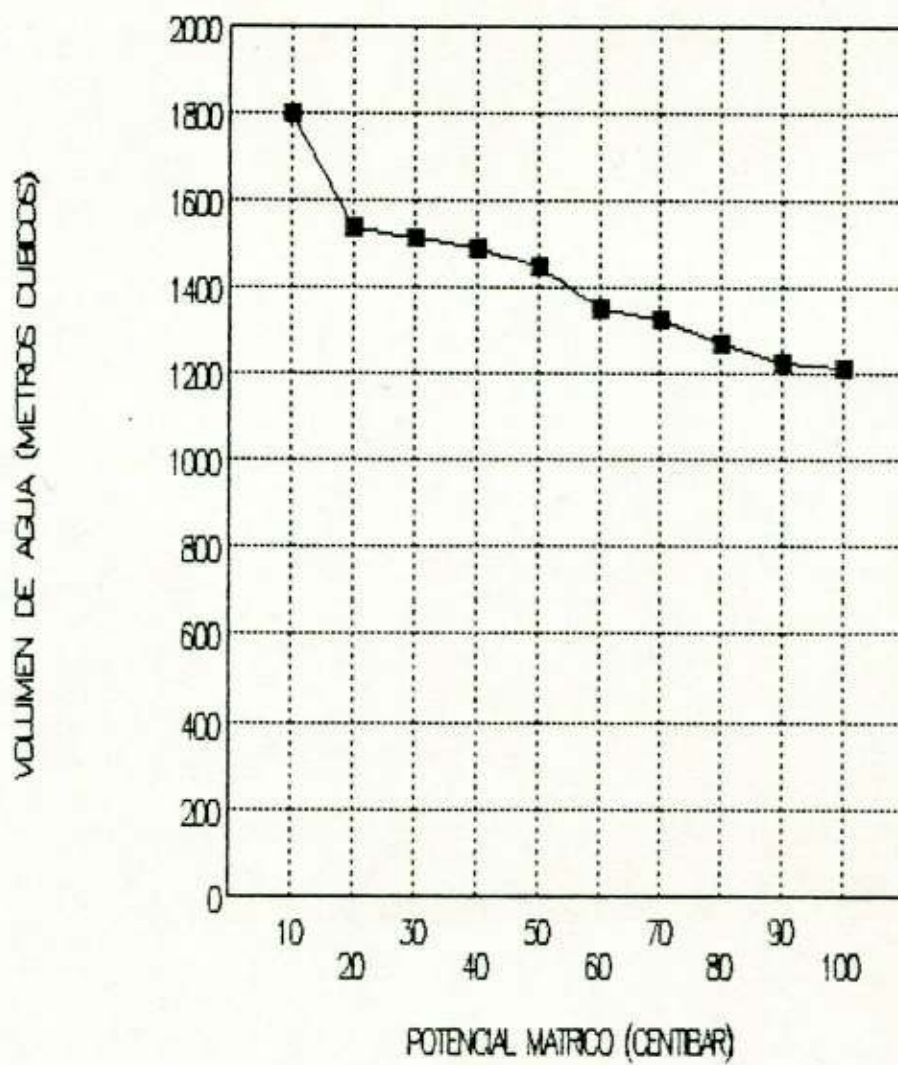


Figura 19. Volúmen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo Franco Arcillo Limoso.

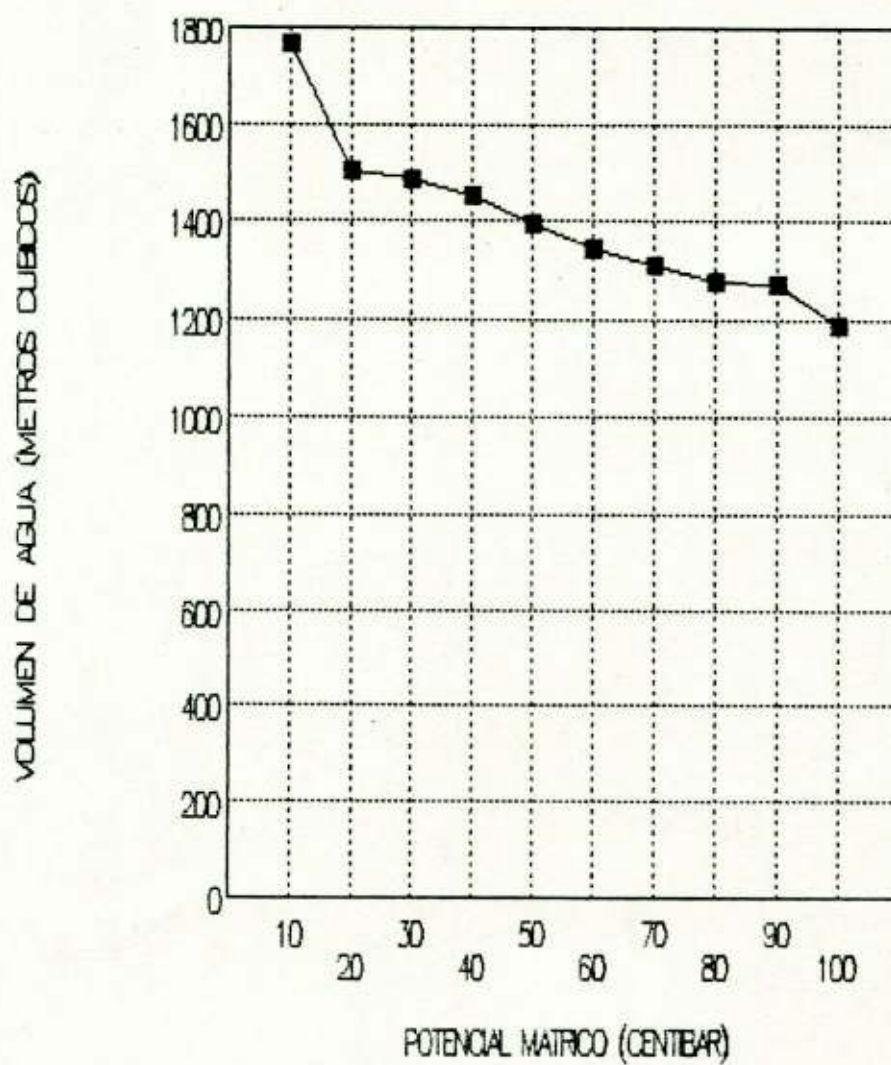


Figura 20. Volumen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo Arcillo Limoso.

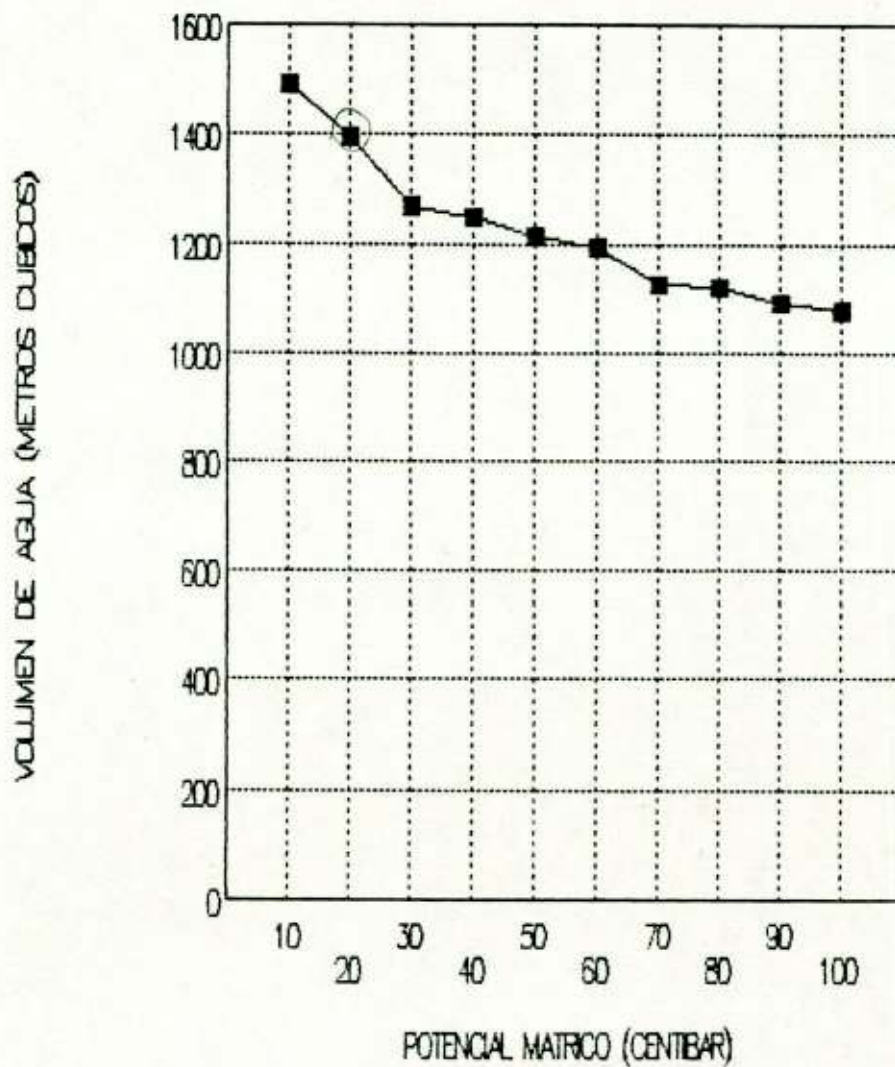


Figura 21. Volúmen de agua retenido por hectárea a 30 cm de profundidad en un suelo Arcilloso.