

DETERMINACION DE LA CURVA DE RETENCION DE HUMEDAD PARA LOS PRINCIPALES TIPOS DE SUELO DE LA PENINSULA DE SANTA ELENA, PROVINCIA DEL GUAYAS

Kléber Calle, Jaime Proaño *

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se lo realizó en las Granjas de: Chongón ubicada en el Km. 27^{1/2} vía a la costa a 1^{1/2} Km. Margen izquierdo, Playas ubicada en el Km. 83 vía a Playas a 5 Km. De su margen izquierda, El Azúcar ubicada en el Km. 103 vía a Salinas a 9 Km. de su margen derecho. Todas estas pertenecientes a CEDEGE; y en las haciendas privadas como: Agroficial ubicada en el Km. 43 vía a la costa margen izquierdo, Cantonancia ubicada en el Km. 58 vía a la costa margen izquierdo, La Chola ubicada en el Km. 53 vía a la costa a 8 Km. margen izquierdo. Todos estos lugares están dentro de la península de Santa Elena, Provincia del Guayas, en los meses de julio del 2002 hasta enero del 2003.

La finalidad que persiguió esta investigación fue determinar las curvas de retención de humedad para los tipos de suelos encontrados en los lugares antes mencionados, y ofrecer una nueva alternativa en la programación del riego cuyo interés primordial para los que hacen agricultura en la Península es economizar el consumo de agua regando eficientemente y por ende optimizar los rendimientos de sus cultivos.

Para este tipo de estudio se utilizaron cilindros porta muestras con su respectivo barreno, tensiómetros, barrenos tipo Holandés, anillos infiltrómetros, cajete de madera, se realizaron evaluaciones de los sistemas de riego y además se determinaron las propiedades físicas de los suelos encontrados en cada uno de los lugares en estudio.

En general, este trabajo entrega una herramienta útil para la programación del riego con datos reales y confiables que serán de suma importancia para quienes manejen el riego en cada una de las Granjas y Haciendas donde se realizó esta investigación.

INTRODUCCION

Mediante la ejecución de este trabajo de investigación se implementó una metodología para la programación del riego con la ayuda de la olla de presión (olla de Richards), determinando las curvas de retención de humedad, cuyos resultados son una alternativa más económica y confiable que permitirá hacer una programación de riego conjuntamente con la utilización de baterías de tensiómetros; es decir mediante las curvas de retención se podrá programar el riego de diferentes cultivos, tomando en cuenta solamente la humedad del suelo.

La energía del agua cuando está retenida por el suelo, implica efectuar un trabajo para sustraerla de su ambiente. Este ambiente es la matriz del suelo. En tanto, más seco se

* Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador.
Correo electrónico: investigacion@uagraria.edu.ec

encuentre el suelo, mayor será el trabajo que tendrá que ejercer la planta para extraer el agua desde el suelo.

Desde el punto de vista de la planta, interesa conocer cuál es la fuerza con que un volumen de agua está retenido por el suelo; y poder establecer curvas de retención de humedad. Que es la relación que existe entre el contenido de humedad del suelo y el potencial o energía con que está retenida esa humedad.

El conocimiento de la capacidad de retención de agua del suelo es importante para la realización de diversas investigaciones e interpretaciones de las relaciones suelo - agua. La misma afecta directamente la infiltración, el flujo de agua, el drenaje, el transporte de solutos, las labores del suelo, el manejo de riego y la disponibilidad de agua para el crecimiento de los cultivos.

OBJETIVOS

Los objetivos que persigue esta investigación son los siguientes:

1. Establecer una metodología para la determinación de la curva de retención de humedad del suelo en el laboratorio.
2. Elaborar las curvas de retención de humedad para los diferentes tipos de suelo de la Península de Santa Elena.
3. Determinar una metodología para la programación del riego con la utilización de la curva de retención de humedad y baterías de tensiómetros.

METODOLOGIA

El presente trabajo de investigación fue ejecutado en la Península de Santa Elena; donde se tomaron como base las granjas demostrativas de “Chongón”, “Playas” y el “Azúcar” pertenecientes a CEDEGE, y además las haciendas privadas “Cantonancia”, “Agroficial” y “La Chola” las cuales se encuentran localizadas como se lo describe a continuación: La granja Chongón esta localizada en el Km. 271/2 de la vía Guayaquil – Salinas. a 11/2 margen izquierdo, Políticamente comprende la parroquia Chongón, cantón Guayaquil, Provincia del Guayas .

Geográficamente se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas UTM.

Norte: 9752,042.871
Este : 599,278.477

El clima de esta zona según la clasificación de Holdridge es tropical seco, con una precipitación anual promedio de 764 milímetros por año; a una altitud de 24 m.s.n.m, la temperatura alcanza una media anual promedio de 27 °C; la insolación promedio es de 1,231.1 horas por año, y la humedad relativa es del 80%. En cuanto a la zona de Chongón, los tipos de suelo, su descripción y manejo tenemos los siguientes:

Franco Arcilloso	28.57 %
Arcilloso > 60 %	33.33 %
Arcilloso > 60 %	33.33 %
Franco y Franco Limoso	4.76%

DESCRIPCION		SUPERFICIE	
CLASE	MANEJO	Ha	%
1	Aptitud excelente y muy buena para todos los cultivos; regable indistintamente por aspersión o gravedad; no requiere drenaje subsuperficial.	63	3
2	Aptitud muy buena para Sorgo, Algodón, Trigo y maíz y media para hortícolas ; preferentemente regable por aspersión , no requiere drenaje subsuperficial .	581	26
3	Aptitud buena para Sorgo, Algodón y Trigo; preferentemente regable por aspersión o no requiere drenaje subsuperficial o lo que requiere a espaciamientos mayores de 30 cm.	479	21
4	Uso especial para Pastos; solo regable por aspersión; para pasto requiere drenaje subsuperficial con espaciamientos de 30 cm.	877	39
2 + 4	Asociación de la clase 2 y 4	170	7
6	No regable	94	4
	SUMA	2,264	100

La granja Playas, esta localizada en el Km. 83 dela vía Guayaquil – Playas, a 5 Km. margen izquierdo, políticamente comprende el Recinto San Juan, cantón Playas, Provincia del Guayas. Geográficamente se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas UTM:

Norte : 9'724,125.000
 Este : 571,875.000

Esta zona se caracteriza por tener un clima seco, con una precipitación promedio anual de 396 mm, a una altitud de 41 m.s.n.m, la temperatura alcanza una media mensual de 24,3 °C, la evapotranspiración potencial es de 1,283 mm/año, la humedad relativa es del 79%, y la velocidad del viento alcanza 3,89 m/s.

En cuanto a la zona de Playas los tipos de suelo, su descripción y manejo tenemos los siguientes:

Franco Arcilloso	27.27 %
Arcilloso > 60 %	54.55 %
Franco y Franco Limoso	12.12 %
Franco Arenoso	6.06 %

DESCRIPCION		SUPERFICIE	
CLASE	MANEJO	Ha	%
1	Método de riego y/o gravedad, dosis de riego moderada a alta. Condiciones de drenaje buenas. Excelente para los cultivos de Soya, Higuierilla, fréjol, Lenteja, tomate, Pepinos, Alfalfa. Buena para Melón, Sandía, Calabaza, Arveja, Pimiento. Regular para Ajo.	381,6	13,1
2	Método de riego: aspersión y/o gravedad, dosis de riego moderada a alta. Condiciones de drenaje buenas. Muy buena para Sorgo, trigo, Algodón. Buena para Maíz. Regular para Higuierilla, Cebolla, Coliflor. Mala para Fréjol y Tomate.	655,9	22,5
3	Método de riego: aspersión, dosis de riego moderada a baja. Condiciones de drenaje buenas. Buena para Trigo, Sorgo, Algodón. Regular para Maíz. Mala para Higuierilla.	45,7	1,6
4	Método de riego: aspersión, dosis de riego baja. Condiciones de drenaje mediocre. Regular para Sorgo, Algodón. Mala para Trigo. Por la baja productividad no se puede invertir en elevados costos de desarrollo, se recomienda sembrar pastos.	679,0	23,3
5	Método de riego: aspersión, dosis de riego moderada a baja. Condiciones de drenaje buenas. Buena para Trigo, Sorgo, Algodón Regular para Maíz. Mala para Higuierilla.	245,4	8,4
6	Método de riego: aspersión, dosis de riego moderada. Condiciones de drenaje buenas. Buena para Trigo, Sorgo, Algodón Regular para Maíz. Mala para Higuierilla. Se recomienda sembrar pasto.	83	2,9
7	Método de riego: aspersión, dosis de riego moderada. Condiciones de drenaje buenas. Buena para Sorgo. Regular para Trigo y Algodón. . Mala para Maíz. Se recomienda sembrar pasto.	727,7	25,0

8	Método de riego: aspersión, dosis de riego moderada condiciones drenaje buenas. Buena para pastos y/o selvicultura.	93,1	3,2
	TOTAL	2,911.4	100

La granja El Azúcar, está localizada, en el kilómetro 103 de la vía Guayaquil – Salinas, a 9 Km. margen derecho. Políticamente comprende el Recinto El Azúcar, Cantón Santa Elena, Provincia del Guayas

Geográficamente se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas UTM:

Norte : 9'751,794.000

Este : 547,422.000

La zona de estudio según la clasificación de Holdridge posee un clima tropical seco, la humedad relativa media anual es del 84%, a una altitud de 35 m.s.n.m con una temperatura promedio anual de 24 °C, 1249,8 horas totales de luz en el año, las precipitaciones anuales son de 222,9 mm.

En cuanto a la zona del Azúcar los tipos de suelo, su descripción y manejo tenemos los siguientes:

Franco Arcilloso	23.25 %
Arcilloso < 60 %	46.51 %
Arcilloso > 60 %	23.26 %
Arenas Francas	4.65 %
Franco y Franco Limoso	2.32 %

DESCRIPCION		SUPERFICIE		
CLASE	MANEJO	PARCIAL	Ha	%
1	Aptitud muy buena para la mayor parte de los cultivos,; regable indistintamente por aspersión o gravedad; no requiere drenaje subsuperficial.		150	3
2	Aptitud muy buena para Sorgo, Algodón y Trigo y buena para maíz; regable indistintamente por aspersión o gravedad; no requiere drenaje subsuperficial.	945		
2s	Aptitud excelente y muy buena para todos los cultivos; regable por aspersión y gravedad; no requiere drenaje subsuperficial, única limitación el riesgo de inundaciones y fragmentación de unidades.	65	1,010	36

3	Aptitud muy buena para Trigo, Sorgo y Algodón y muy buena para Maíz; regable preferentemente por aspersión por restricción de drenaje del suelo; no requiere drenaje subsuperficial a nivel de parcela		390	14
4	Aptitud media para Trigo, Sorgo, Algodón limitada por problemas de drenaje interno; uso especial para pastos de regadío como áreas complementarias; regable exclusivamente por aspersión; para pastos requiere drenaje en zonas con espaciamientos mayores de 30 m		1,235	44
	SUMA		2,785	100

Además de las tres granjas demostrativas, se adicionaron a este proyecto explotaciones agrícolas privadas que se encuentran ubicadas a lo largo de vía a la costa en los siguientes puntos:

Hacienda “la Chola”, ubicada en el Km. 53 de la vía Guayaquil – Salinas a 8 Km. De su margen izquierdo. Políticamente, comprende al Recinto Cerecita, Parroquia Progreso, Provincia del Guayas.

Geográficamente posee las siguientes coordenadas UTM.

Norte: 9'736,500

Este: 584,750

Hacienda Agroficial, ubicada en el Km. 43 de la vía Guayaquil – Salinas margen izquierdo. Políticamente, corresponde a la parroquia Cerecita provincia del Guayas.

Geográficamente posee las siguientes coordenadas UTM:

Norte: 9'741,392

Este: 590,556

Hacienda Cantonancia (Rancho Alegría), ubicada en el Km. 58 de la vía Guayaquil- Salinas junto a la carretera, margen izquierdo. Políticamente comprende al Recinto Progreso provincia del Guayas.

Geográficamente posee las siguientes coordenadas UTM:

Norte: 9'738,750

Este: 577,500

Estas tres zonas se caracterizan por estar dentro de una zona que según la clasificación de Holdridge pertenece a un clima tropical seco; lo cual se ha establecido por existir las condiciones promedias de temperatura con 29°C, de precipitación anual con 470 mm por año, de insolación con 1,120 horas por año y con una humedad relativa del 78%.

Estas propiedades privadas se encuentran dentro de la zona de Cerecita en la cual encontramos los siguientes tipos de suelos con sus descripciones y manejo:

DESCRIPCION		SUPERFICIE		
CLASE	MANEJO	PARCIALES	Ha	%
1	Aptitud excelente y muy buena para todos los cultivos; regable indistintamente por aspersión o gravedad; no requiere drenaje subsuperficial.		63	3
2	Aptitud muy buena para Sorgo, Algodón, Trigo, maíz y media para Hortícola.	600		
2s	Aptitud muy buena para Sorgo, Algodón, Trigo y maíz y media para hortícola, preferentemente regable por aspersión, no requiere drenaje subsuperficial.	120	720	33
3	Aptitud buena para Sorgo, Algodón y Trigo, preferentemente regable por aspersión; no requiere drenaje subsuperficial.		490	22
4	Uso especial para pastos, solo regable por aspersión.		520	24
	SUMA		2,200	100

SUELOS

METODO GRAVIMETRICO

Este método consiste en elaborar un cajete de madera de 1m por lado, con una altura de 0.45m, una vez en el campo se lo enterró a 5cm de profundidad y se colocó tierra alrededor, la cual se procuró que este bien compactada, seguido a esto se aplicaron 400 litros de agua dentro del cajete y una vez que percoló se lo cubrió con una lámina de plástico negro. Además, dentro del cajete se instalaron 3 tensiómetros a la profundidad de 30-45-60 cm. con la finalidad de registrar la tensión de humedad del suelo durante los días de prueba.

Se tomaron muestras de suelo cada 24, 48, 72 horas después de realizada la prueba, a la profundidad de 30-45-60 cm, para poder así estimar la cantidad de humedad a capacidad de campo. Estas muestras fueron llevadas a un laboratorio de suelo, en donde fueron pesadas en estado húmedo y luego se las colocó en un horno eléctrico a una temperatura de 105°C por 24 horas, posteriormente se pesó la muestra en estado seco, los datos obtenidos sirvieron para calcular el porcentaje de humedad, para la cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$Hg = (Ph - Ps) / (Ps) * 100$$

Donde:

Hg = Porcentaje de humedad

Ph = Peso húmedo del suelo en gramos

Ps = Peso seco del suelo en gramos

INFILTRACION

Velocidad de Infiltración

La prueba de infiltración, es el cálculo de la cantidad de agua infiltrada en el suelo dentro del área de estudio por un tiempo determinado.

La infiltración se determinó con la utilización del método de anillos infiltrómetros. En el caso específico de los anillos se empleó la metodología propuesta por la FAO, la cual consiste en utilizar 2 anillos concéntricos de hierro galvanizado con un espesor de 3 mm, las medidas del anillo externo son de 38 cm de diámetro y 30 cm de largo; y el anillo interno mide 20 cm de diámetro y 30 de largo.

Se ubicaron los anillos a 5 cm de profundidad; se llenó primero el anillo exterior, posteriormente se tapó con un plástico el anillo o cilindro central a fin de evitar que se altere la superficie del suelo cuando se vierta el agua, una vez estabilizado el nivel del agua del anillo exterior, se procederá a llenar el anillo central y se empezaron a tomar los datos de tiempo y lecturas de infiltración para la prueba. La velocidad de infiltración se determinó mediante la ecuación planteada por **Kostiakov**, que expresa la infiltración en un punto.

$$I = at^b \text{ (mm/h, mm/min)}$$

Donde I es la velocidad de Infiltración, en milímetros por unidad de tiempo (mm/h, mm/min), a es un coeficiente de la velocidad e infiltración en un tiempo igual a 1 (mm/min.^(1+b), mm/h^(1+b)), t es el tiempo de infiltración que viene dado en horas o en minutos y b es un exponente sin dimensión, siempre es negativo y con valor que van de 0 a -1

INFILTRACION ACUMULADA

$$I. \text{ cum} = 60 \times b \times t^{(b-1)} \text{ (mm/h)}$$

b : Es un exponente sin dimensión, siempre es negativo y con valor que van de 0 a -1

t : Tiempo de infiltración que viene dado en horas o en minutos

60 : Factor que transforma los minutos a hora.

INFILTRACION BASICA

$$Ib. = a \times 60 (-10 \times 60 \times b)^b$$

b : Es un exponente sin dimensión, siempre es negativo y con valor que van de 0 a -1

a y b : Parámetros que son determinados mediante la hoja logarítmica o regresión lineal.

60 : Factor que transforma los minutos a hora. (El tiempo esta dado en minutos)

Se realizaron tres repeticiones en el área de estudio, con el fin de tener datos de referencia y obtener un valor medio.

AGUA DISPONIBLE

Con el conocimiento de algunas de las propiedades físicas ya detalladas anteriormente encontramos el consumo de agua disponible mediante la utilización de las siguientes fórmulas:

$$AD (\%V) = (HCc - HPm) * (Pea / Pew)$$

Donde AD = agua disponible, a base del volumen del suelo, (%), HCc = contenido de humedad, a capacidad de campo a base del peso seco del suelo, (%), HPm = contenido de humedad, en el punto de marchitez permanente, a base del peso seco del suelo, (%), Pea = peso específico aparente del suelo, (g/cm³), Pew = peso específico del agua, (g/cm³).

$$LDm (mm/m) = AD (\%V) * 10$$

Donde LDm= Lámina de agua disponible, mm de agua, en una capa de suelo de un metro de profundidad, (mm), AD= agua disponible, a base de volumen del suelo (%V), El factor 10 convierte el % por volumen a mm.

$$VDm (m^3/Ha/m) = LDm (mm/m) * 10$$

Donde VDM= volumen de agua disponible, en m³ de agua, por hectáreas en una capa de suelo de un metro de profundidad, (m³/Ha/m), LDm= lámina de agua disponible, en mm de agua, en una capa de suelo de un metro de profundidad (mm).

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Para obtener la conductividad eléctrica se preparó una pasta de saturación con una cantidad de suelo de 400-450 gr. aproximadamente y mezclada con agua destilada a 25°C para luego con la ayuda de una bomba hidráulica extraer la solución y medirla con el Conductímetro y de la misma solución se determinó el pH con la ayuda del Potenciómetro.

DETERMINACION DE LA CURVA DE RETENCION DE AGUA EN EL SUELO

METODO DEL PLATO EXTRACTOR

Esta metodología requiere de los siguientes procedimientos:

MUESTREO EN EL CAMPO

En primer lugar se determinaron los lugares donde se procedió a tomar las muestras de suelo, posteriormente se realizó la limpieza y saturación del mismo; se introdujo el cilindro muestreador en el suelo saturado a las profundidades de 30-45-60 cm, esto se lo hizo cuidadosamente con el fin de no perder su estructura. Una vez obtenidas las muestras y debidamente identificadas se las trasladó al laboratorio.

PROCEDIMIENTO EN EL LABORATORIO

Se puso el plato de cerámica poroso para saturar en agua destilada por lo menos durante 24 horas, antes de empezar su utilización y después se continuó con ella siempre sumergida en agua. Se colocaron las muestras de suelo en una bandeja para ser saturadas, durante 24 horas, manteniendo una capa de agua suficiente para cubrir un cuarto de la altura del cilindro.

Se retiraron las muestras saturada de la bandeja, junto con el papel filtrante, con una espátula curva, dejando que el exceso del agua drene, por algunos segundos, antes de realizar el pesaje del conjunto (suelo y cilindro).

Antes de colocar la muestra de suelo en la balanza, se usó una cobertera, con diámetro ligeramente mayor que el cilindro, para taparlo, girándolo de manera que la extremidad del cilindro con la cobertera sea ubicada en la balanza. Éste papel filtrante usado se desechó, porque ello puede dar datos erróneos de las demás muestras. Se humedeció otro papel filtro para recibir la muestra de suelo saturado, que fue pesada previamente y se colocó en el plato de cerámica. Estas etapas se repetirán hasta distribuir todas las muestras de suelo en el plato cerámica.

Luego de esto, se colocó el plato de cerámica con las muestras de suelo dentro de la olla de presión y se conectó la salida de desagüe del plato con el tubo de salida de la olla.; Se cerró la cobertera del equipo, apretando con firmeza todos los cerrojos, se aplica la menor presión, que establecimos para nuestra prueba (0,3 bar) y se espera el tiempo que sea necesario para que drene el exceso de agua. Esto puede tomar varios días. En algunos casos, si el suelo es arcilloso, puede llevar hasta una semana para que toda el agua en exceso salga de la muestra de suelo. Después que el punto de equilibrio ha sido alcanzado, o sea, el desagüe ha cesado completamente, se liberó la presión aplicada y se retiró la cobertera da la olla de presión para efectuar los pesajes de las muestras de suelo. Para prevenir evaporación durante el procedimiento de pesado, se cubrió todas las muestras de suelo, usando la propia cobertera del cilindro, Cuidadosamente, con la espátula curva, se retiró la muestra de suelo que fue pesada, retirando también el papel filtro.

Usando una espátula recta, se retira todo el suelo que ha sido retenido en el papel filtro y se lo colocó de vuelta en el cilindro antes que sea efectuado el pesaje. En la extremidad del cilindro donde estaba el papel filtrante, se ubicó una cobertera estándar del cilindro, peso conocido (ésta cobertera deberá ser usada en el pesaje de todas las muestras). Se quitó la cobertera que fue colocada previamente para evitar evaporación y se hizo el pesaje en conjunto (cilindro, suelo húmedo y cobertera estándar). Se humedeció otro papel filtro y se colocó en el plato de cerámica para recibir la muestra de suelo que ha sido pesada. Se retiró la cobertera estándar para ser usada en el pesaje de la muestra siguiente. Se repitió estas etapas hasta que fue concluido el pesaje de las muestras de suelo húmedo. Se aplicó otra presión, (0.6 bar), y se esperó el tiempo necesario hasta que el equilibrio fue alcanzado.

Después que el equilibrio fue alcanzado, se repitió estas dos últimas etapas, aplicando las presiones siguientes, (1, 5 y 15 bares). Para las presiones de 5 y 15 bares, las muestras de suelo debieron ser transferidas a un plato de cerámica de 15 bares, que fueron previamente saturadas. Después que la última presión de 15 bares fue aplicada y el equilibrio se alcanzó, las muestras de suelo tuvieron que ser colocadas en la estufa para secar, con temperatura

controlada a 105° C. Dejándolo secar por 48 horas para garantizar que toda el agua restante haya sido extraída del suelo.

RUTINA SOLVER DENTRO DE LA HOJA DE CALCULO DE EXCEL

Una vez concluido el trabajo de laboratorio con todas las muestras de suelo, se procedió a la tabulación de todos los resultados obtenidos, y se los ingresó a una hoja de calculo de Excel, En esta hoja se ingresan todos los datos del propietario, fecha, localidad, tipo de análisis realizado, responsable, dirección, ciudad, Provincia, teléfonos y Fax, Identificación del cultivo (local), identificación de los cilindros muestreadores, peso de los cilindros en gramos, peso del suelo más el cilindro en gramos, profundidad en centímetros, presión en atmósferas, peso del suelo húmedo en gramos, humedad gravimétrica, densidad aparente y porosidad, como lo muestra la figura 1.

ENTRADA DE DATOS DEL LABORATORIO									
Fecha:	11/10/02								
Identif. del estudio:	Metodología de nego								
Responsable:	Kleber Calle Piomero								
Localidad:	Hacienda Agroficial								
Dueño:									
Dirección:	Km. 43 vía a la costa								
Ciudad:									
Provincia:	Guayas								
Teléfono/Fax:									
Fax:									
Identificación local:	Guanábana								
Ident. del cilindro:	S-194	K-257	B-424						
Peso del cilindro (g)	82.9	81.6	81.4						
Suelo seco+cilindro (g)	230.3	226	225.7						
Profundidad (cm)	0-30	30-45	45-60	0-30	30-45	45-60			
Presión (atm)	Peso del suelo húmedo (g)			Humedad gravimétrica (g/g)					
0.0025	268.6	267.4	269.5	0.2598	0.2867	0.3035			
0.3000	263.6	260.2	262.4	0.2259	0.2368	0.2543			
0.6000	262.3	258.7	260.5	0.2171	0.2265	0.2412			
1.0000	260.8	257.5	259.3	0.2069	0.2181	0.2328			
5.0000	258.7	255.3	257.1	0.1927	0.2029	0.2176			
15.0000	256.1	252.6	254.5	0.1750	0.1842	0.1996			
Dens. Aparente (g/cm ³)	1.474	1.444	1.443						
Porosidad (cm ³ /cm ³)	0.444	0.455	0.455						

Figura 1. Entrada de datos del laboratorio.

La hoja de entrada de datos está vinculada con otra hoja denominada “tensión”, en donde se realizan todos los cálculos para la obtención de la curva de retención de humedad del suelo aplicando el **Solver** que es una herramienta que ayuda a resolver y a optimizar ecuaciones bajo el uso de métodos y modelos matemáticos que el solver bajo programa Excel lo resuelve.

El modelo matemático utilizado es el siguiente:

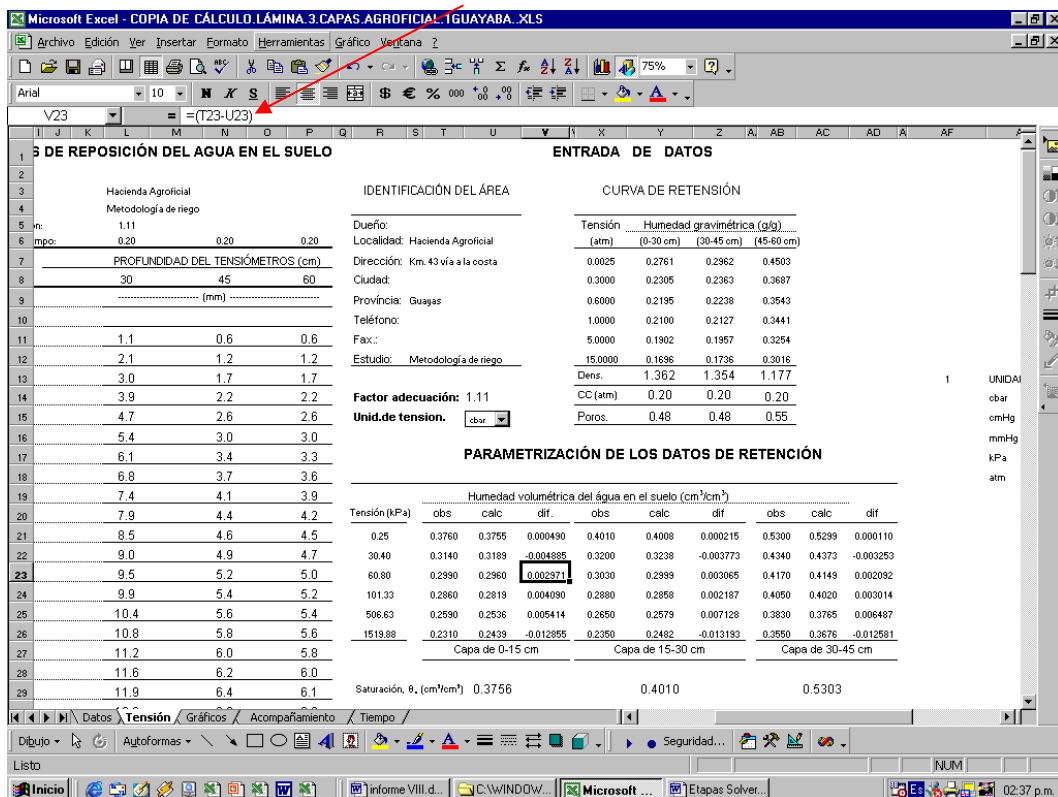
$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{1 + (\alpha h)^n} \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

Figura 3.5.9.3 Modelo matemático

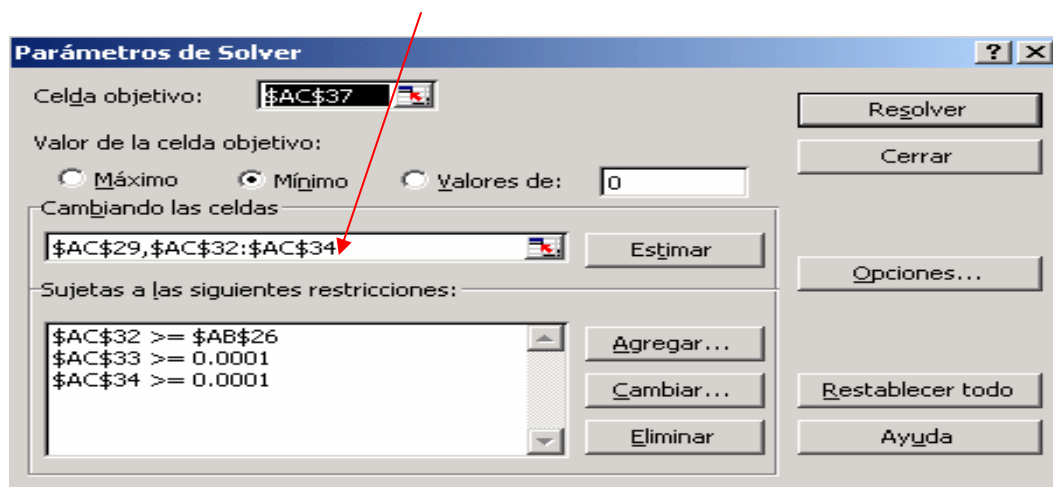
Donde:

- θ = humedad del suelo
- h = tensión de agua de suelo (kPa)
- θ_s = humedad saturada del suelo;
- θ_r = humedad residual del suelo;
- a = parámetro de ajuste (kPa⁻¹)
- n = parámetro de ajuste (adimensional).

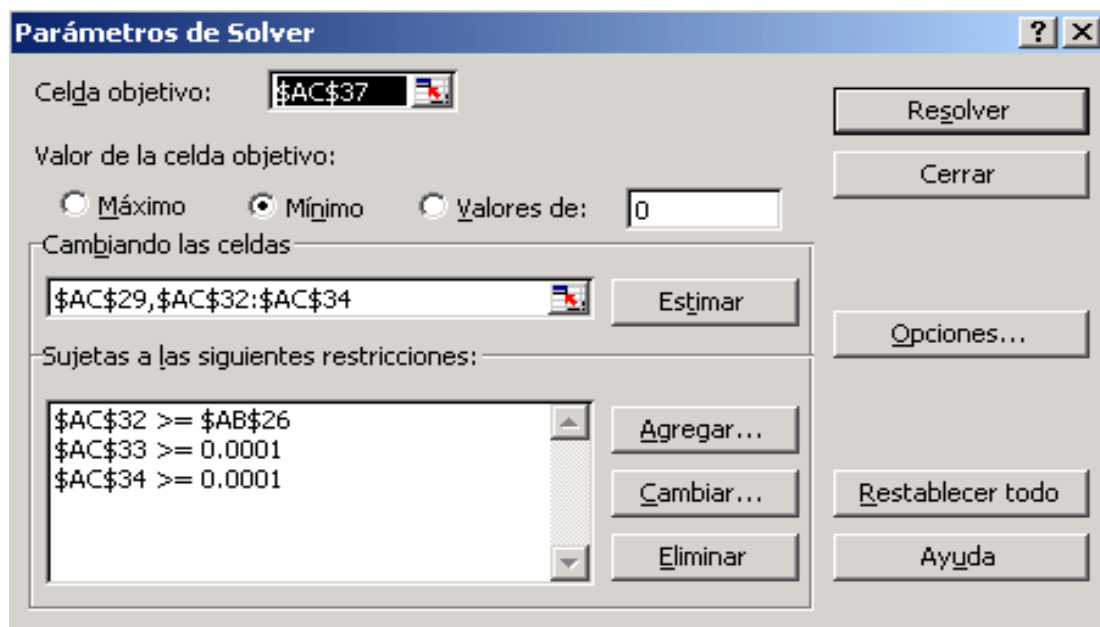
1.- Se abre la opción del menú de Herramientas.



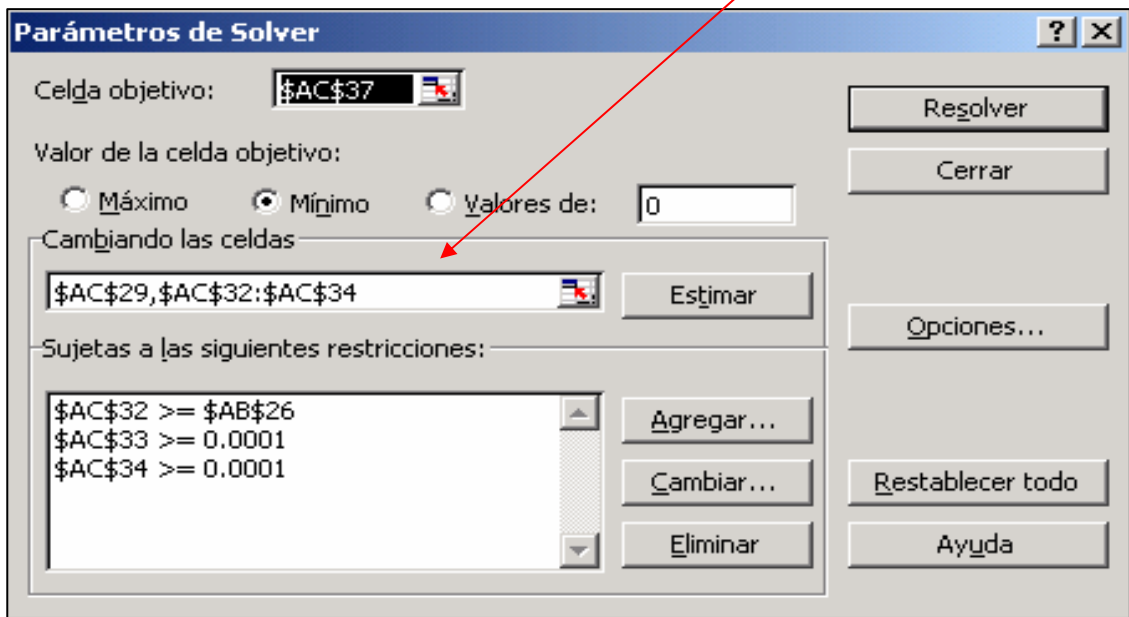
2.- Se selecciona la rutina Solver para abrir la ventana con sus respectivos parámetros



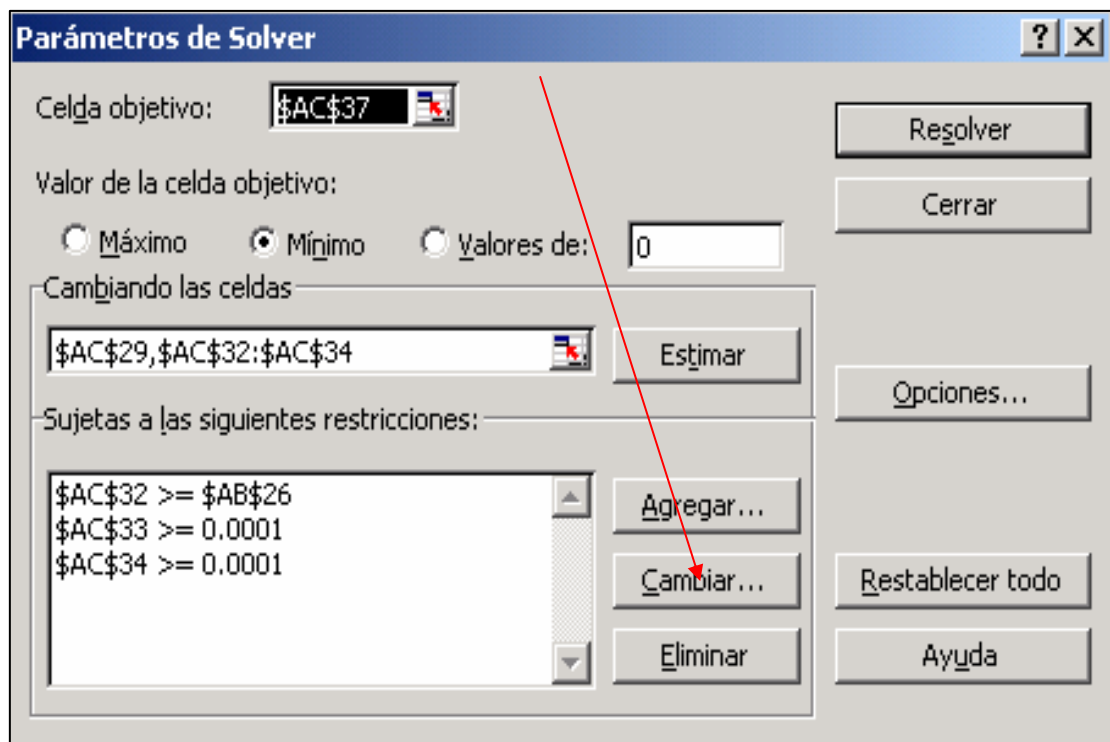
3.- Se verifica si la celda de destino corresponde con la suma de los cuadrados de errores que está en la celda AC37



- 4.- Se verifica si las celdas variables corresponden con las celdas que contienen los valores de los parámetros iniciales θ_r (cm^3/cm^3), n e α , que están en las celdas AC29, AC32, AC34, respectivamente.



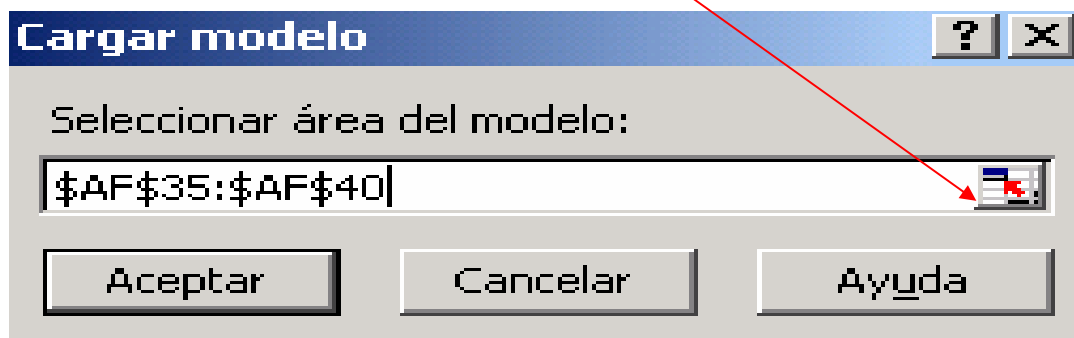
- 5.- Se verifican las restricciones. Se pueden modificar seleccionando la que se quiere, presionando la opción Cambiar.



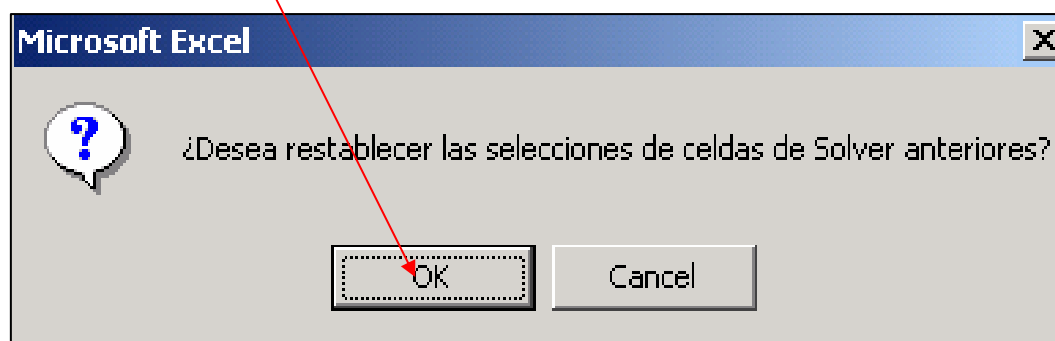
6.- Se elige opciones, se verifican las estimaciones, después se carga el modelo y luego se presiona aceptar.



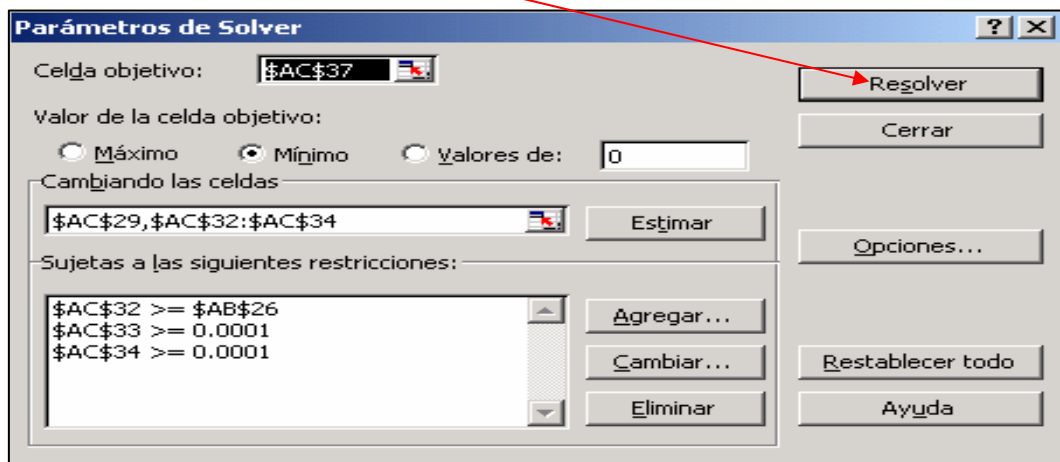
7.- Se carga, seleccionando el área del modelo.



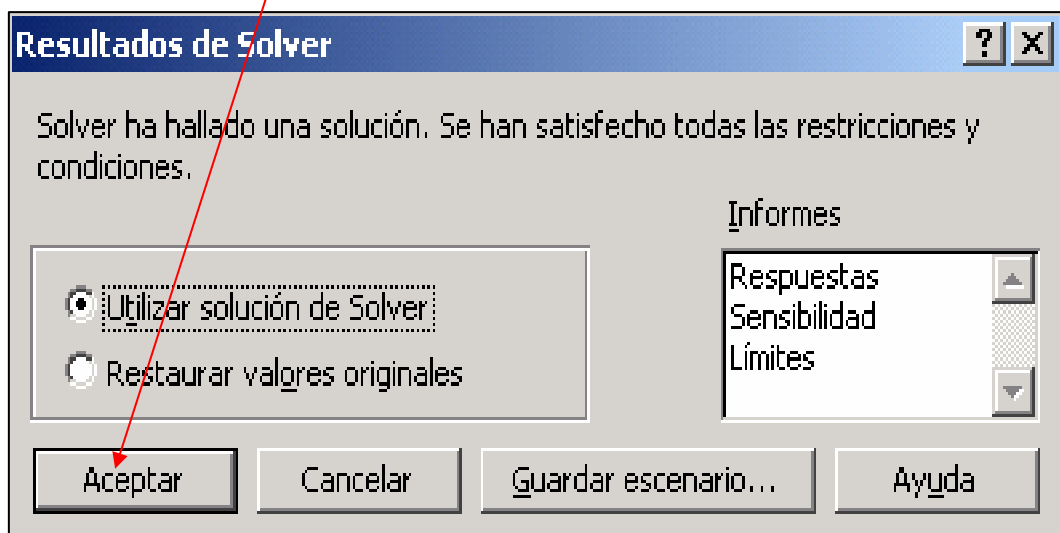
8.- Se presiona OK.



9.- Presione la Opción Resolver y aguarde la próxima ventana.



10.- Resultados del Solver indicando que el ajuste finalizó con una solución adecuada. Se presiona la opción aceptar y el ajuste queda finalizado.



RESULTADOS

CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD

A continuación, se presenta una relación entre el contenido de humedad del suelo y su potencial matriz (tensión de humedad), expresada gráficamente por una curva denominada curva de retención de humedad.

Cada tipo de suelo tiene una curva de retención característica, que esta en función de su textura y estructura, razón por la cual se ha identificado cada curva con su respectivo tipo de suelo a la profundidad determinada.

Hacienda Agroficial

Zona 1 Guayaba

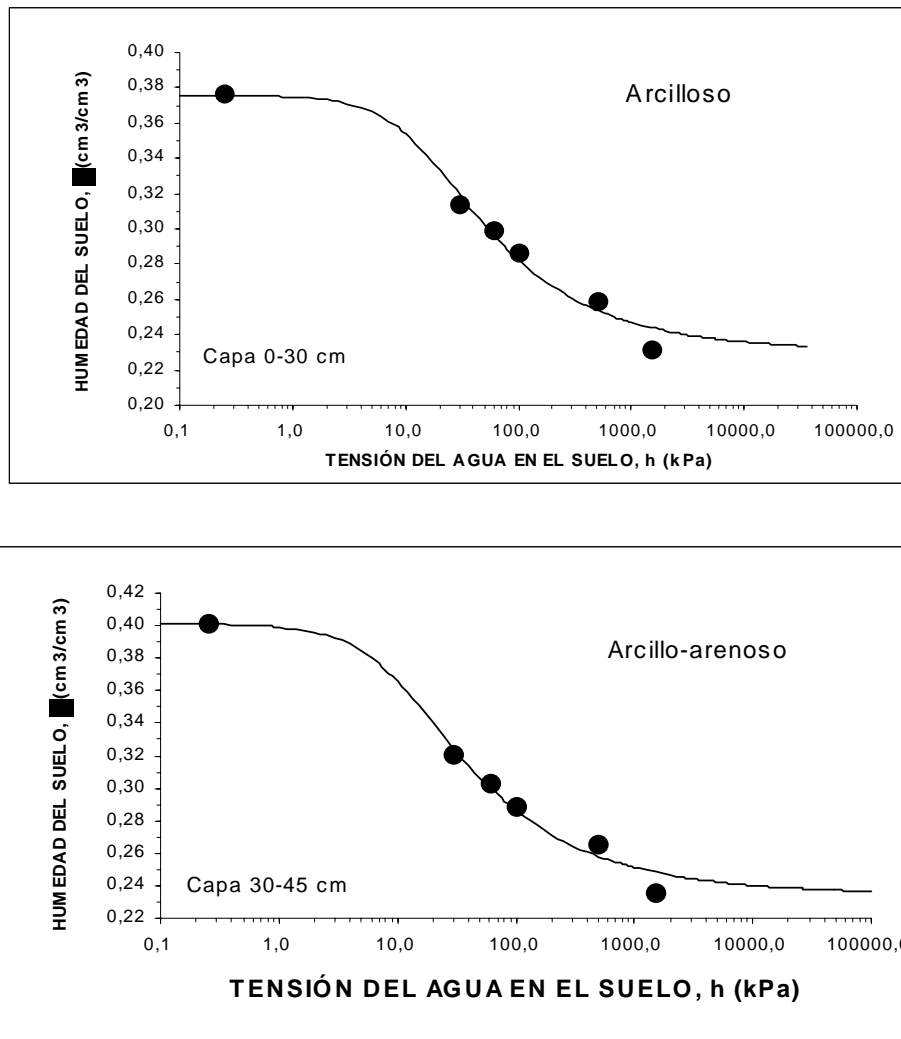
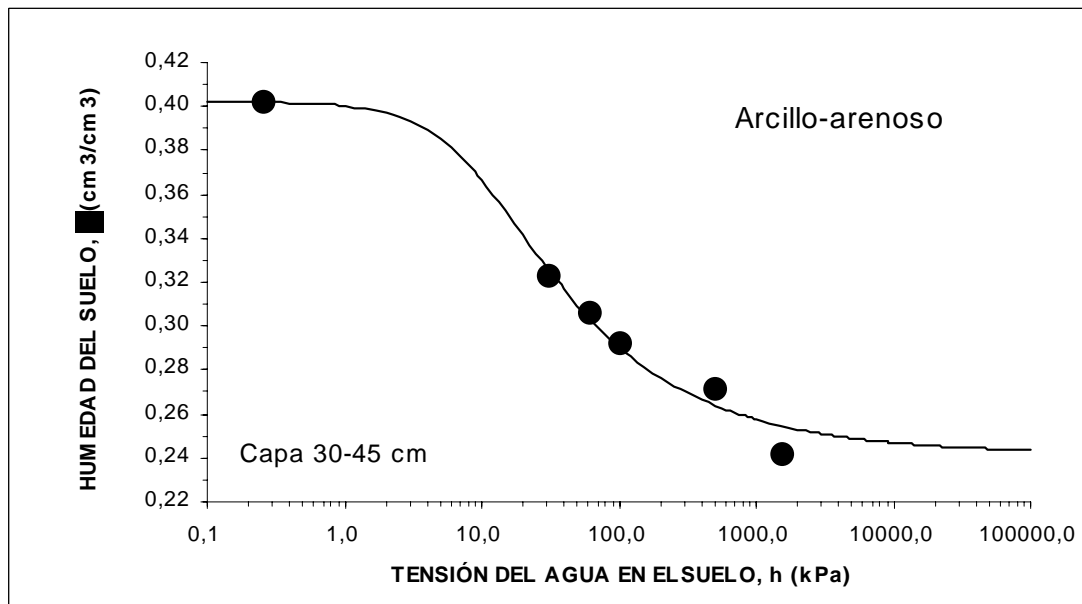
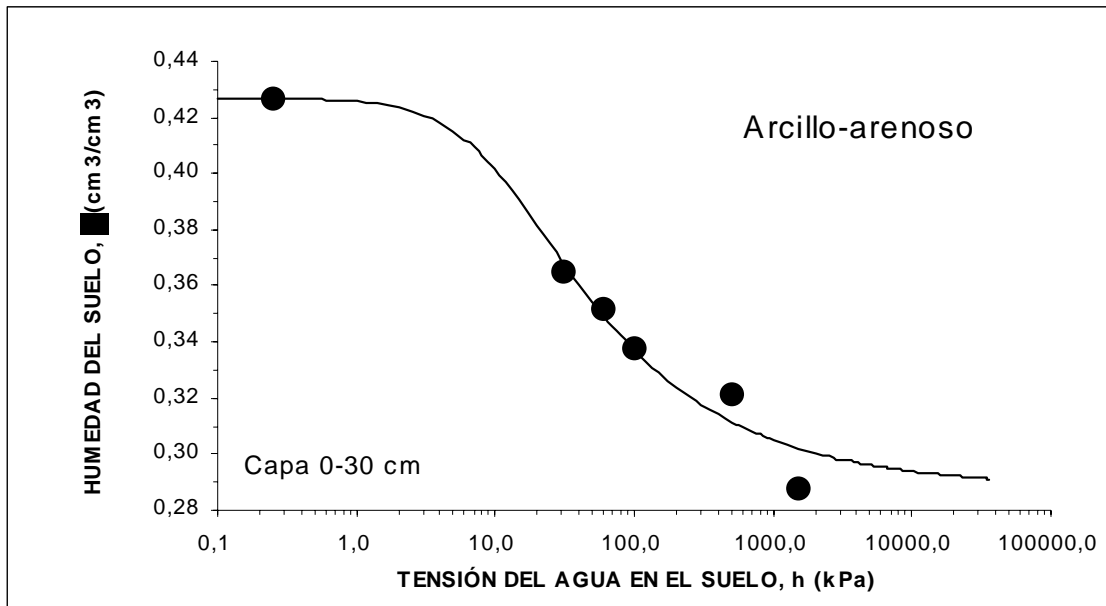


Figura. 2.- Curvas representativas de la retención de humedad por suelos de diversa textura, zona 1.

Zona 2 Guayaba



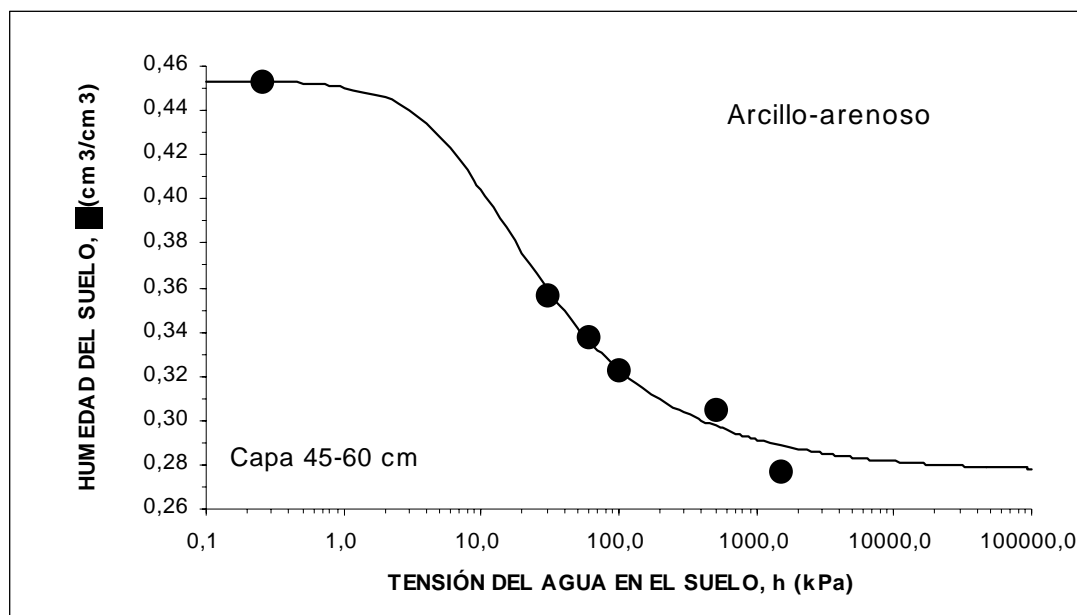


Figura 3.- Curvas representativas de la retención de humedad por suelos de diversa textura, zona 2.

PROGRAMACION DEL RIEGO

Los cuadros que se presentan a continuación, contienen las láminas brutas de reposición y la decisión de regar o no cuando el tensiómetro marque una lectura por encima del límite indicado, cabe recalcar que las lecturas son diarias y hemos tomado el último mes de riego que corresponde al mes de diciembre en cada uno de los lugares estudiados; excepto en la Granja Azúcar cultivo de uva que corresponde al mes de noviembre.

Hacienda Agroficial

Cuadro 1 y 2.- Láminas brutas de reposición del agua en el suelo

LÁMINAS BRUTAS DE REPOSICIÓN DEL AGUA EN EL SUELO			
Dueño:		Hacienda Agroficial	
Localidad:		Metodología de riego	
Estudio:		1,11	
Factor de adecuación:		0,20	0,20
Capacidad del Campo:			0,20
LECTURAS DE TENSÍOMETROS		PROFUNDIDAD DEL TENSÍOMETRO (cm)	
cbar	30	45	60
	(mm)		
20,0			
22,0	1,1	0,6	0,6
24,0	2,1	1,2	1,2
26,0	3,0	1,7	1,7
28,0	3,9	2,2	2,2
30,0	4,7	2,6	2,6
32,0	5,4	3,0	3,0
34,0	6,1	3,4	3,3
36,0	6,8	3,7	3,6
38,0	7,4	4,1	3,9
40,0	7,9	4,4	4,2
42,0	8,5	4,6	4,5
44,0	9,0	4,9	4,7
46,0	9,5	5,2	5,0
48,0	9,9	5,4	5,2
50,0	10,4	5,6	5,4
52,0	10,8	5,8	5,6
54,0	11,2	6,0	5,8
56,0	11,6	6,2	6,0
58,0	11,9	6,4	6,1
60,0	12,3	6,6	6,3
62,0	12,6	6,8	6,4
64,0	12,9	6,9	6,6
66,0	13,2	7,1	6,7
68,0	13,5	7,2	6,9
70,0	13,8	7,3	7,0
72,0	14,1	7,5	7,1
74,0	14,3	7,6	7,2
Capas del suelo (cm) ==>	0 - 30	30-45	45-60

Zona 2 Guayaba

LÁMINAS BRUTAS DE REPOSICIÓN DEL AGUA EN EL SUELO			
Dueño:			
Localidad:	Hacienda, Agroficial		
Estudio:	Metodología de riego		
Factor de adecuación:	1,20		
Capacidad del Campo:	0,19	0,19	0,19
LECTURAS DE TENSIÓMETROS	PROFUNDIDAD DEL TENSIÓMETRO (cm)		
cbar	30	45	60
	(mm)		
19,0	0,0	0,0	0,0
21,0	1,1	0,7	0,7
23,0	2,1	1,3	1,4
25,0	3,1	1,9	2,0
27,0	3,9	2,4	2,5
29,0	4,7	2,8	3,0
31,0	5,4	3,3	3,5
33,0	6,1	3,7	3,9
35,0	6,8	4,0	4,3
37,0	7,4	4,4	4,6
39,0	7,9	4,7	5,0
41,0	8,4	5,0	5,3
43,0	8,9	5,3	5,6
45,0	9,4	5,5	5,8
47,0	9,9	5,8	6,1
49,0	10,3	6,0	6,3
51,0	10,7	6,3	6,6
53,0	11,0	6,5	6,8
55,0	11,4	6,7	7,0
57,0	11,7	6,9	7,2
59,0	12,1	7,0	7,3
61,0	12,4	7,2	7,5
63,0	12,7	7,4	7,7
65,0	13,0	7,5	7,8
67,0	13,3	7,7	8,0
69,0	13,5	7,8	8,1
71,0	13,8	8,0	8,3
73,0	14,0	8,1	8,4
Capas del suelo (cm) ==>	0 - 30	30-45	45-60

Cuadro 3.- Lámina bruta de reposición del agua en el suelo.

LÁMINAS BRUTAS DE REPOSICIÓN DEL AGUA EN EL SUELO									
Dueño:									
Localidad:		Hacienda Agroficial							
Estudio:		Metodología de riego							
Factor de adecuación:		1,36							
Capacidad del Campo:		0,11		0,11		0,11			
LECTURAS DE TENSIÓMETRO		PROFUNDIDAD DEL TENSIÓMETROS (cm)							
cbar		30		45		60			
ACOMPANAMIENTO DE LAS LECTURAS DE LOS TENSIÓMETROS									
Identificación:		Metodología de riego							
Localidad:		Hacienda Agroficial							
DATOS DEL SUELO					DATOS DEL SISTEMA DE RIEGO				
Parámetros		Capa del suelo			Caudal promedio de la microaspersión (lph)=>				
Profundidad	0-30 cm	30-45 cm	45-60 cm	Área humedecida por planta (m ²) =====>					
ρs (cm ³ /cm ³)	0,326	0,4146	0,4360	Factor de adecuación del riego =====>					
θr (cm ³ /cm ³)	0,2580	0,2660	0,2880	Tensión a 30 cm para riego (cbar) =====>					
n	1,5270	1,4944	1,5244	Tensión en capacidad de campo (cbar) =====>					
α (kPa ⁻¹)	0,0638	0,1023	0,0335	Tensión límite para el momento de riego (cbar) =>					
					31,37				
					5,30				
					1,36				
					10				
					11				
					20				
FECHA	PROF. (cm)	LECTURAS (cbar)		PROMEDIO (cbar)	DÉFICIT BRUTO (mm)		¿DECIDE REGAR?		TIEMPO (hs)
		Batería 1	Batería 2		Parcial (mm)	Total	(si)	(no)	
01/12/02	30								
	45								
	60								
02/12/02	30	47		47	16,53				
	45	44		44	9,40	25,93	X		4,382
	60								
03/12/02	30	48		48	16,78				
	45	44		44	9,40	26,18	X		4,425
	60								
04/12/02	30	50		50	17,26				
	45	44		44	9,40	26,66	X		4,506
	60								
05/12/02	30	43		43	15,46				
	45	50		50	10,18	25,64	X		4,333
	60								
06/12/02	30	52		52	17,72				
	45	44		44	9,40	27,12	X		4,584
	60								
07/12/02	30								
	45								
	60								
08/12/02	30								
	45								
	60								
09/12/02	30	55		55	18,37				
	45	35		35	7,34	26,31	X		4,446
	60								
10/12/02	30	55		55	18,37				
	45	34		34	7,74	26,12	X		4,414
	60								
11/12/02	30	56		56	18,58				
	45	32		32	7,34	25,92	X		4,380
	60								
12/12/02	30	56		56	18,58				
	45	31		31	7,12	25,70	X		4,344
	60								
13/12/02	30	59		59	19,17				
	45	30		30	6,90	26,07	X		4,406
	60								
14/12/02	30								
	45								
	60								
15/12/02	30								
	45								
	60								
16/12/02	30	52		52	19,73				
	45	27		27	6,18	25,90	X		4,378
	60								
17/12/02	30	52		52	19,73				
	45	29		29	6,67	26,40	X		4,461
	60								
18/12/02	30	57		57	18,78				
	45	29		29	6,43	25,21	X		4,260
	60								
19/12/02	30	27		27	9,70				
	45	13		13	1,08	10,78	X		1,822
	60								
20/12/02	30	27		27	9,70				
	45	22		22	4,74	14,44	X		2,441
	60								
21/12/02	30	27		27	9,70				
	45	24		24	5,35	15,06	X		2,545
	60								
22/12/02	30	34		34	12,67				
	45	28		28	6,43	19,00	X		3,210
	60								
23/12/02	30	36		36	13,28				
	45	29		29	6,67	19,95	X		3,371
	60								
24/12/02	30	38		38	13,95				
	45	30		30	6,90	20,85	X		3,523
	60								
25/12/02	30	41		41	14,88				
	45	31		31	7,12	22,00	X		3,719
	60								
26/12/02	30	43		43	15,46				
	45	33		33	7,55	23,00	X		3,888
	60								
27/12/02	30	21		21	6,65				
	45	32		32	7,34	13,99	X		2,365
	60								
28/12/02	30								
	45								
	60								
29/12/02	30								
	45								
	60								
30/12/02	30	50		50	17,26				
	45	1		1		17,26	X		2,917
	60								
31/12/02	30								
	45								
	60								

CONCLUSIONES

- La capacidad de campo en cada una de los sitios estudiados, varían de acuerdo a sus propiedades físicas; pero principalmente por su estructura y textura.
- Las velocidades de infiltración de los suelos estudiados son relativamente altas y tendrán variación dependiendo de la zona, ya que están en relación directa con su estructura y estabilidad.
- Las densidades aparentes y reales expuestas en este trabajo de investigación dan una clara idea de la porosidad de los suelos estudiados y servirán para posibles trabajos a futuro.
- La utilización de tensiómetros serán imprescindibles para determinar la tensión del suelo y la posible lámina de agua a aplicar.
- Existe gran infraestructura en los sistemas de riego tanto en las granjas de CEDEGE como en las haciendas privadas.
- Por el contrario y en especial las haciendas privadas no tienen una idea clara de cómo y cuánto regar sus cultivos, pese a los buenos sistemas de riego que poseen.
- La programación de riego expuesta en el presente trabajo servirá para agricultores y hacendados como una alternativa para que apliquen un riego eficiente, evitando dar excesos o deficiencias de agua a sus cultivos.

RECOMENDACIONES

- Para la determinación y aplicación de las curvas de retención de los suelos, se deberá realizar un análisis físico completo del suelo.
- Utilizar tensiómetros para determinar la tensión del suelo y por ende el momento exacto que se deberá aplicar el riego.
- Volver a determinar las curvas de retención por lo menos de 3 a 4 años, dependiendo de las labores de mecanización a la que esté sometida los suelos.
- Tomar las lecturas de tensiómetros por la mañana y tarde para la debida programación de riego con las curvas de retención.
- Hacer evaluaciones de los sistemas de riego antes del inicio del ciclo del cultivo, ya que el caudal medio que arrojará esta evaluación influirá en la programación de riego con las curvas de retención.
- Hacer pruebas de velocidad de infiltración para poder determinar el diámetro humedecido de los sistemas de riego en especial goteo, por que también influirá en la programación de riego con las curvas de retención.

BIBLIOGRAFIA

1. Avidan, A. 1994. Determinación del Régimen de Riego de los Cultivos. Fascículo 1, Factores que influyen sobre el régimen de riego, (HAIGUD – Sociedad Para la Transferencia de Tecnología).
2. Biblioteca de la Agricultura, 1997. Lexus. Barcelona – España.
3. Cevazos, T., Rodríguez, O. 1992. Física de los Suelos. (Manual de Practicas). Trillas S.A. México.
4. Clark, G. 1993. Programación de Riego por Goteo en Hortalizas. Agricultura de las Américas.
5. Da Silva, 2001. Metodología para la obtención de datos para la curva de retención usando la cámara de presión con placas cerámicas porosas EMBRAPA CERRADOS BRASIL.
6. D. Foth Henry. 1992. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Continental S.A. México.
7. Enciclopedia Práctica de la Agricultura y la Ganadería (1999). Editorial Océano. Barcelona – España.
8. Fuentes, J. 1996. Curso de Riego Para Regantes. Mundi – Prensa – España.
9. Grassi, C. 1988. Fundamentos del Riego (Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras C.I.D.I.A.T Mérida – Venezuela.
10. Henrriquez, C., Cabalceta, G. 1999. Guía Práctica Para el Estudio Introductoria De Los Suelos con un Enfoque Agrícola. Universidad de Costa Rica.
11. Kramer, P. 1989. Relaciones Hídricas de Suelos y Plantas. Harla. México.
12. Orlov, D. 1985. Manejo y Control de Riego en Plantaciones de Árboles Frutales. Israel.
13. Palmrobert., Troeh, F. 1989. Introducción a la ciencia del suelo. (Manual de Laboratorio). A.G.T Editor S.A. EE.UU.
14. Plan hidráulico 1984. Acueducto Santa Elena, Diseño de la Primera Fase del Proyecto de Riego (Evaluación de Tierras Para Riego) Centro de estudios Hidrológicos Madrid.

