

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICAS DE LAS SERIES TIQUISATE, ESCUINTLA, MORÁN
Y CHOCOLÁ,
DESDE EL PUNTO DE VISTA DE SU APLICACIÓN PARA
PROPÓSITOS DE RIEGO

TESIS

presentada a la Junta Directiva de la Facultad
de AGRONOMIA de la Universidad de San
Carlos de Guatemala por

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL

PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO
CARLOS J. KRAFKA G.

TESIS DE REFERENCIA
NO

SE PUEDE SACAR DE LA BIBLIOTECA
BIBLIOTECA CENTRAL - USAC

En el acto de su investidura de

INGENIERO AGRONOMO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central
Sección de Tesis

NOVIEMBRE DE 1960

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA

R
01
T(121)

**JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DE LA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Decano	Ing. Marco Tulio Urizar M.
Vocal 1o.	Ing. Eduardo D. Goyzueta V.
Vocal 2o.	Ing. Mario Molina Llardén
Vocal 3o.	Lic. Alfredo Chacón Pazos
Vocal 4o.	Br. Rodolfo Martínez F.
Vocal 5o.	Br. Leopoldo Barreda
Secretario	Ing. Ovidio Amaya G.

**TRIBUNAL QUE PRACTICO
EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

Decano	Ing. Marco Tulio Urizar
Examinador Vocal 2o. ..	Ing. Mario Molina Llardén
Examinador	Ing. Armando Fletes
Examinador	Ing. Marco A. Flores
Secretario	Ing. Ovidio Amaya G.

Dedicatoria

A mis padres:

*Francisco Krařka
María de Krařka*

A mis hermanos:

*Francisco
Berta
Rodolfo
Ana María*

A mis buenos y dedicados compañeros de promoción:

*Edgar L. Ibarra A.
Mario A. Martínez G.
Augusto Mérida M.
Peter Oestmann M.
Leopoldo Sandoval V.*

A mis catedráticos:

en gratitud a la orientación y enseñanzas que me brindaron.

*A todos mis amigos y compañeros de la
Facultad de Agronomía.*

HONORABLES MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA:

HONORABLES MIEMBROS DEL JURADO EXAMINADOR:

La importancia que en Guatemala está adquiriendo el uso del riego requiere que, simultáneamente con los estudios técnicos para la construcción de las obras de ingeniería, se lleven a cabo estudios agronómicos para el uso racional de las aguas para irrigación.

Los lugares que cuentan con mayores posibilidades de riego se localizan en las zonas media y baja del país, en las cuales se encuentran las áreas ocupadas por las series de suelos Morán, para la zona media, y Escuintla, Tiquisate y Chocolá para la zona baja.

Los suelos Morán ofrecen grandes posibilidades para la explotación de cultivos hortícolas y para la siembra de pasotos, ya que se encuentran en una región bien adaptada para la lechería; en tanto que los restantes son susceptibles de explotación intensiva con cultivos económicos si se recurre al uso de técnicas agronómicas adecuadas.

Guatemala, para transformar su agricultura, necesita recurrir a la explotación intensiva con el objeto de incrementar los rendimientos unitarios a fin de que la producción agrícola se haga a más bajo costo y sus productos puedan competir con los precios a que éstos se cotizan en mercados locales y extranjeros, y dar así margen a la exportación en el caso de suscitarse una superproducción de los mismos.

Esto, sin embargo, no es factible a menos que como se ha indicado, se apliquen las técnicas agronómicas más adecuadas, el uso de riegos y todos aquellos principios básicos en caminados al uso racional de la tierra y demás recursos naturales que se emplean en la agricultura, objetivo hacia el cual es-

tá encaminada la presente contribución.

Sirva, pues, el presente estudio para aportar algunos datos de utilidad a los propósitos anteriormente citados.

Guatemala, Noviembre de 1960.

INTRODUCCIÓN

El agua del suelo es un factor esencialmente dinámico que se mueve a lo largo de gradientes definidos de energía y dentro de los cuales es aprovechada por las plantas para su mantenimiento.

La ciencia edafológica ha logrado determinar los valores máximos y mínimos de dichos gradientes y ha desentrañado los secretos de las fuerzas en pugna por el agua, raíces contra suelo, llegando a establecerse por métodos propios, sus límites aproximados.

De los resultados obtenidos han nacido nuevas constantes físicas que ayudan a evaluar la falta o el exceso de agua en un cultivo, en un momento determinado de su desarrollo.

El propósito del presente trabajo es determinar estas constantes físicas en las series de suelos Tiquisate, Escuintla, Morán y Chicolá, y aportar así información adicional para el uso racional del riego en los mismos.

Cuando va a planearse un sistema de riego es necesario conocer cuál es la máxima eficiencia que puede obtenerse, así como las cantidades de agua que deben de aplicarse en cada riego y cuál es la frecuencia más adecuada en cada zona para obtener rendimientos económicos.

Surgen entonces tres incógnitas, que por su orden de importancia son:

1. Niveles o cantidades de riego que deben aplicarse al suelo para aumentar su humedad al porcentaje requerido.
2. Las condiciones bajo las cuales deben hacerse las aplicaciones: es decir: a) Sistemas de riego (aéreo o por gravedad), y b) Tiempo de operación del mismo.
3. Frecuencia o intervalo de días con que debe hacerse cada a-

plicación.

De aquí la importancia de estudiar ciertas características de los suelos, que se utilizarán para diseñar sistemas eficientes de riego, objetivos hacia los cuales está encaminado el presente trabajo.

A continuación me permito ilustrar con un ejemplo la forma de relacionar los resultados de laboratorio y las determinaciones de invernadero que he efectuado, para que el lector tenga un claro concepto de los usos que se hacen de tales determinaciones y de los objetivos de este trabajo.

EJEMPLO

"Tenemos un área de 300 x 300 pies con un cultivo cuya profundidad radicular es de tres pies. La capacidad de retención máxima de este suelo (Capacidad de Campo), es del 25% y su gravedad específica es 1.3.

Se pregunta:

1. ¿Cuál es la lámina de agua que hay que aplicar si el suelo está en su Punto de Marchitamiento, al cual corresponde un contenido de humedad del 13% ?
2. ¿Cuál es la frecuencia de aplicación, si los requerimientos de consumo del cultivo son de 0.25 pulgadas de agua al día?
3. ¿Cuál es el tiempo durante el cual debe de hacerse la aplicación, si la infiltración es de 0.75 pulgadas por hora, y cuál será el caudal requerido si la eficiencia del sistema de riego es del 70% ?

RESOLUCIÓN:

1. Para elevar el contenido de humedad del 13 al 25% es necesario reponerle al suelo 12% de humedad. La cantidad de agua que debemos aplicar es una variable dependiente de la gravedad específica y de la profundidad a la que deseamos humedecer el suelo, lo cual se expresa mediante la fórmula siguiente:

$$d = \frac{C.C. - P.M.}{100} \times G.e. \times h \times 12 \text{ (pulgadas)}$$

donde:

d = Lámina de agua a aplicar, en pies

C.C. = Capacidad de Campo

P.M. = Punto de Marchitamiento

G.e. = Gravedad específica

h = Profundidad radicular del cultivo

por lo tanto,
$$d = \frac{25 - 13}{100} \times 1.3 \times 3 \times 12$$

$$d = 5.6 \text{ pulgadas}$$

2. Siendo los requerimientos de consumo del cultivo de 0.25 pulgadas de agua diarias, la frecuencia de aplicación "f", será:

$$f = d / 0.25 \qquad f = 14 \text{ días}$$

3. a) Para calcular el tiempo necesario para aplicar la lámina de agua se toma como base la infiltración del suelo, lo cual se hace por medio de la fórmula:

$$T = \frac{d}{I}$$

donde:

T = Tiempo de riego, en horas

d = Lámina de agua a aplicar, en pulgadas

I = Infiltración del suelo, en pulgadas por hora

Por lo tanto:

$$T = \frac{5.6}{0.75}$$

$$T = 7.47 \text{ horas: } 7 \text{ horas, } 28 \text{ minutos.}$$

b) El caudal requerido se calcula así:

$$Q = \frac{100 d A}{T e}$$

donde:

Q = Caudal de agua, en pies cúbicos por segundo.

d = Lámina de agua a aplicar, en pulgadas.

A = Area a regar, en acres

T = Tiempo de riego, en horas

e = Eficiencia

por lo tanto,

$$Q = \frac{100 \times 5.6 \times 2.06}{7.47 \times 70}$$

$$Q = 2.21 \text{ pies cúbicos por segundo}$$

Previo el ejemplo anterior, el lector está en condiciones de interpretar los estudios que se exponen a continuación, en los cuales se explican conceptos, técnicas para determinaciones de laboratorio e invernadero y los resultados de los análisis efectuados. Se incluyen también las citas bibliográficas y la literatura consultada.

DESCRIPCIÓN DE LAS SERIES DE SUELOS UTILIZADAS EN ESTE TRABAJO

Las descripciones de las series de suelos que a continuación se exponen, fueron extractadas de la "Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala" (1), así:

Serie de suelos Tiquisate: pág. 948
Serie de suelos Escuintla: pág. 756
Serie de suelos Morán : pág. 826
Serie de suelos Chocolate : pág. 734

SERIE DE SUELOS TIQUISATE

Perfil del Suelo: Tiquisate franco

1. En la superficie de la mayoría de los lugares hay una capa, de 2 a 5 cms. de espesor, de hojas y ramitas recién caídas y parcialmente descompuestas.
2. El suelo superficial, a una profundidad aproximada de 35 cms., es franco, de color café oscuro a café muy oscuro. El contenido de materia orgánica es alrededor del 5 al 10 por ciento. La estructura es granular fina poco desarrollada y la reacción es neutra, pH alrededor de 7.0.
3. El subsuelo, a una profundidad aproximada de 70 cms., es franco o arenoso muy fino de color claro. La reacción

-
- (1) Simmons, C. S., J. M. Tárrano y J. H. Pinto -1958
"Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala". Instituto Agropecuario Nacional -Servicio Cooperativo Interamericano de Agricultura, Ministerio de Agricultura, Guatemala, C.A.

es neutra, pH alrededor de 7.0.

4. El subsuelo más profundo, a una profundidad aproximada de un metro, es arena franca de color claro. La reacción es neutra, pH alrededor de 7.0.
5. El substrato es arena café amarillenta o café grisácea que tiene un contenido variado de granos negros. Más abajo, a una profundidad alrededor de 2 metros, el material es arena y grava suelta y negra, similar a la arena de las playas del Pacífico.

Variaciones e Inclusiones

El suelo de la superficie varía de franco arenoso fino a franco limoso. En algunos lugares el subsuelo más profundo y el substrato están moteadas de gris. Unas ventanas pequeñas de suelo desarrollado en ceniza volcánica pomácea, cementada, que son los restos de una superficie antigua de terreno.

-Suelos Cutzán-están incluidos con los suelos Tiquisate en la ve cindad de Tiquisate.

Topografía:

Los suelos Tiquisate ocupan relieves casi planos, sua ves, en el Plano Costero del Pacífico. Relativamente pocos arroyos cruzan estos suelos, siendo grandes por ser los troncos resultantes de la unión de muchos riachuelos que forman el sistema de drenaje del declive Pacífico. El material madre de estos suelos parece haber sido lavado de las pendientes y re-tra-bajado por el mar.

SERIE DE SUELOS ESCUINTLA

Perfil de suelo: Escuintla franco

1. El suelo superficial, a una profundidad de 40 a 50 cms., es franco, café muy oscuro que tiene un contenido alrededor del 13 por ciento de materia orgánica. La estructura es granular suave. La reacción es de mediana a ligeramente ácida, pH alrededor de 6.0.
2. El subsuelo superior, a una profundidad cerca de 80 cms., es franco café a café oscuro o franco arcilloso friable que contiene alrededor del 7 al 8 por ciento de materia orgánica. La estructura es de cúbica poco desarrollada a granular. La reacción es de mediana a ligeramente ácida, pH alrededor de 6.0.
3. El subsuelo más profundo, a una profundidad cerca de 110 cms., es franco arcilloso friable de color café amarillento a café rojizo. La estructura es cúbica poco desarrollada; la reacción es medianamente ácida, pH 5.5. a 6.0.
4. El substrato es lodo volcánico pedregoso, intemperizado o toba relativamente impermeable al agua. Este material es firme en algunos lugares, pero presenta una textura de franco arcilloso cuando está húmedo y se amasa con los dedos. En algunos sitios es llamado texcal. Muchas de las rocas incluidas son máficas y se exfolian cuando se intemperizan. Casi todas son de textura felsítica pero algunas son brechas.

Variaciones:

Muchas áreas han sido erosionadas a tal extremo que el subsuelo de franco arcilloso está expuesto y el substrato cementado se encuentra aproximadamente a 60 cms. de la superficie. Casi todas las áreas carecen de piedras en la superficie, pero en algunos lugares hay suficiente como para interferir en el cultivo con maquinaria agrícola.

Topografía y Geología:

Ocupan pendientes poco inclinadas -en muchos lugares menos del 10 por ciento- en las faldas del volcán de Agua y del volcán de Fuego en la parte sur central de Guatemala. Están desarrollados sobre materiales máficos y flujo lodoso.

SERIE DE SUELOS MORÁN

Perfil del suelo: Morán franco arcilloso

1. El suelo superficial, a una profundidad de 20 a 30 cms., es franco arcilloso friable de color café muy oscuro y cuando es tá húmedo es café rojizo oscuro. El contenido de materia orgánica es alrededor del 4 por ciento. La estructura es granular. La reacción es de mediana a ligeramente ácida, pH alrededor de 6.0.
2. El suelo adyacente al superficial, a una profundidad alrededor de 50 cms., es franco arcilloso friable de color café oscuro a café rojizo oscuro. En muchos lugares se encuentran escamas pequeñas de mica. La reacción es de mediana a ligeramente ácida. pH alrededor de 6.0
3. El subsuelo, a una profundidad alrededor de 100 cms., es arcilla café rojiza. La estructura es de fuertemente cúbica a prismática. Es duro cuando está seco y pegajoso cuando está húmedo. La reacción es de ligeramente ácida a neutra, pH 6.5.
4. A una profundidad de 150 cms. o más, se extiende una capa color café amarillenta de ceniza volcánica pomácea, de descompuesta a parcialmente descompuesta que contiene muchos fragmentos de pómez. La reacción es de ligeramente ácida a neutra, pH 6.0 a 6.5.
5. El substrato es pómez cementada débilmente, de color blan-

co. Casi todos los fragmentos son menores de 2 cms. de diámetro, pero se encuentran pedazos grandes.

Variaciones e Inclusiones:

La profundidad del suelo varía hasta dos metros y en algunos lugares aparece un suelo fósil debajo de las capas 3 ó 4. El horizonte superficial ha sido lavado por la erosión y el sub-suelo está expuesto en algunos lugares.

Topografía y Geología:

Ocupan relieves de inclinados a ondulados. Las pendientes varían del 5 al 15 por ciento. Se han desarrollado sobre ceniza volcánica pomácea.

SERIE DE SUELOS CHOCOLA

Perfil del suelo: Chicolá franco limoso

1. El suelo superficial, a una profundidad cerca de 40 cms., es franco limoso o franco arcilloso, friable, color café oscuro. No tiene piedras y está bien abastecido de materia orgánica. La estructura es granular en la parte superior y granular fina en la inferior. La reacción es ligeramente ácida, pH 6.0 a 6.5.
2. El subsuelo, a una profundidad alrededor de 80 cms., es franco arcillo-limoso, de color café claro y contiene algunas partículas pequeñas de mica. Está libre de piedras. La estructura es cúbica poco desarrollada y la reacción es ligeramente ácida, pH 6.0 a 6.5.
3. El subsuelo, a una profundidad alrededor de 150 cms., es arcilla friable, café claro o café amarillenta. En casi todos los lugares hay muchas partículas pequeñas de mica. La estructura es fuertemente cúbica pero los planos de cruce

verticales son más prominentes que los horizontales, lo cual le comunica una apariencia de estructura prismática. Las caras de los agregados grandes están cubiertas de un material de color café oscuro. La reacción es de mediana a ligeramente ácida, pH alrededor de 6.0.

4. El substrato es ceniza volcánica micácea, parcialmente intemperizada, de grano fino y de color amarillo grisáceo claro o casi blanco. En algunas partes es firme, pero es suave y resbaladizo cuando se amasa con los dedos.

Variaciones:

La profundidad del suelo varía de uno a más de dos metros. Algunas áreas tienen unas cuantas piedras grandes. En algunos lugares el suelo y el material madre no son micáceos. Los suelos Chocó son los más productivos de Guatemala.

Topografía y Geología:

Ocupan terrenos suavemente inclinados, 3 a 6 por ciento, en el declive Pacífico bajo. Esta es una región de abanicos aluviales coalescentes construídos durante un período de intensa actividad volcánica. Actualmente corren a través de esta región muchos arroyos rápidos, pero pocos han cortado canales mayores de 10 metros de profundidad. Los valles son angostos, de laderas inclinadas y prácticamente no tienen aluvión.

AGUA DEL SUELO

LITERATURA REVISADA

Los límites del agua del suelo así como su clasificación en higroscópica, capilar y gravitacional fueron presentados por J.L. Briggs en 1897. Lebedeff (1928), sugirió una cuarta fase de la humedad del suelo, el "agua de vapor", la cual se presenta dentro de la atmósfera del suelo y se mueve a lo largo de gradientes de tensión de vapor.

GENERALIDADES

Cuando agregamos agua al suelo seco, éste la absorbe y la retiene bajo la acción de fuerzas de atracción de las partículas de suelo sobre las moléculas de agua y por fuerzas de cohesión entre las moléculas de agua entre sí; a medida que el tenor de agua aumenta en el suelo pasa por tres fases distintas, las cuales son:

1. Agua Higroscópica
2. Agua Capilar
3. Agua Gravitacional

Esta clasificación debe ser considerada algo arbitraria, debido a la superficialidad de las actuales teorías sobre la humedad del suelo. A pesar de esto y de que bajo ciertas condiciones el agua capilar puede convertirse en gravitacional y el agua higroscópica en capilar, la clasificación parece ser lo suficientemente útil como para no ser desechada.

1. Agua Higroscópica

El agua que permanece en un suelo secado al aire es conocida generalmente con el nombre de agua higroscópica. Representa el agua contenida en el suelo no aprovechable por las plantas, ya que la fuerza con que es retenida es mayor que la presión osmótica ejercida por las raíces. Es retenida por fuerzas de superficie en forma de películas muy finas, y sólo puede

ser removida en forma de vapor.

2. Agua Capilar:

El agua capilar es la única fracción del agua del suelo que es verdaderamente importante para la mayoría de las plantas cultivadas, ya que el agua que éstas utilizan está comprendida dentro de sus límites.

Como el agua higroscópica, ésta también está retenida por fuerzas de superficie y también envuelve a la partícula de suelo en forma de películas concéntricas cuya fuerza de adhesión disminuye conforme mayor es la distancia de la película a la partícula.

La fuerza con que el suelo retiene el agua puede expresarse de varias formas, ya sea en atmósferas de presión, en altura en cms. de una columna de agua cuyo peso sea igual a la fuerza considerada, o en valores de pF, que no es más que el logaritmo de la altura en cms. de la columna antedicha, lo que simplifica la expresión de la fuerza con que el agua es retenida, porque si bien, una parte es guardada con muy poca energía, otra parte es retenida por una fuerza tan grande que su equivalente en peso de agua puede alcanzar alturas hasta de 10 millones de cms. (10 Kms.). Para evitar el oneroso empleo de números tan grandes, se ha recurrido a la simplificación por medio del logaritmo de estos números, o sea, el pF. Los valores del pF varían desde 0.0 (altura 1 cm., presión 1/1000 de atmósfera), en el suelo saturado, hasta 7.0 (altura 10 millones de cms., presión 10000 atmósferas), que es aproximadamente la fuerza máxima con que el agua puede ser retenida en el suelo.

3. Agua Gravitacional:

Cuando se han llenado todos los poros capilares del suelo, éste se encuentra en su Capacidad de Campo. Si el agua sigue penetrando a través de él, el siguiente paso será la invasión de los macroporos hasta la saturación y todo el exceso de

agua, o agua gravitacional, estará sometida a la acción de la fuerza de la gravedad.

El agua gravitacional, así se le denomina, tiene muy poco valor para la mayoría de las plantas cultivadas e incluso puede llegar a causarles daño ya que las raíces pueden sufrir un serio detrimento por la falta del oxígeno que ha sido desalojado de los poros por el agua o por la acumulación de anhídrido carbónico debido a la fermentación anaeróbica.

BIBLIOGRAFÍA

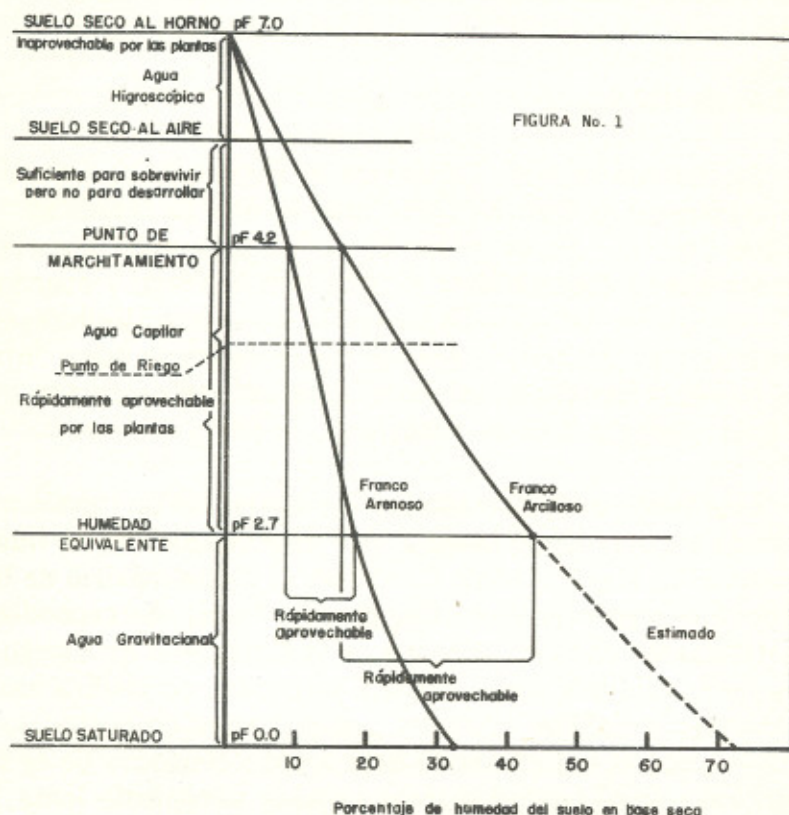
- Baver, L.D. 1948 - Soil Physics. 2d. ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Briggs, L.J. 1897 - The Mechanics of Soil Moisture. U.S. Dept. Agr. Bur. Soils Bull. 10.
- Buckingham, E. 1907- Studies of the Movement of Soil Moisture. U.S. Dept. Agr. Bur. Soils Bull. 38.
- Costalonga, A. 1958 - Irrigação. Centro de Ensaio e Treinamento da fazenda Ipanema, São Paulo, Brasil.
- Gardner, W. 1920 - The Capillary Potential and its Relation to Soil Moisture Constants. Soil Sci. 10:357-359.
- Kramer, P.J. 1949 - Plant and Soil Relationships. 2:25-28.
- Lyon, T.L. and H.O. Buckman 1943 - Naturaleza y Propiedades del Suelo. 7:138 - 153.
- Schofield, R.K. 1935 - The pF of the Water in Soil. Trans. Intern. Congr. Soil Sci. 3rd. Congr. Oxford, 1935, 2:37-48.
- Schofield, C.S. 1945 - The Measurement of Soil Water. J. Agr. Research, 71: 375-402.
- Veihmeyer, F.J. 1935 - Report of the Committee on Physics of Soil Moisture. Trans. Am. Geophys. Union, 16:426-432.
- Veihmeyer, F.J. 1936 - Report of the Committee on Physics of Soil Moisture. Trans. Am. Geophys. Unión, 17:318-326.

Veihmeyer, F.J. 1936 - Report of the Comitee on Physics of Soil Moisture. Trans. Am. Geophys. Union, 20:543 - 545.

Veihmeyer, F.J. 1944 - Report of the Comitee on Physics of Soil Moisture, 1943-44. Trans. Am. Geophys. Union, 25: 699 - 712.

Las constantes físicas de los suelos que se usan en riegos son la Capacidad de Campo, el Punto de Marchitamiento y la Humedad Equivalente, que corresponden a los grupos de clasificación de Briggs, y representan las diversas condiciones del estado de humedad del suelo expresadas en porcentaje, referidos al peso de la muestra.

En la siguiente figura se representa la clasificación de la humedad del suelo y las diferencias entre el contenido de humedad aprovechable y no aprovechable de un suelo arenoso y de un suelo arcilloso. (1)



(1) Kramer, P.J. 1949 - Plant and Soil Relationships - p.28
Fig. 2

CAPACIDAD DE CAMPO

LITERATURA REVISADA

Veihmeyer and Hendrickson (1936), declararon que éste no es un valor de equilibrio verdadero, sino solamente un estado en el cual el contenido de humedad del suelo no sufre cambios apreciables entre las aplicaciones de agua. Colman investigó la determinación de la Capacidad de Campo en el campo directamente, y llegó a la conclusión de que cuando el suelo se saturaba a una profundidad de 4 pies, la Capacidad de Campo en los dos primeros pies de profundidad se alcanzaba después de 24 horas.

GENERALIDADES

Es llamada también Capacidad de Retención de Campo, Capacidad Normal de Campo, Capacidad Normal de Humedad y Capacidad Capilar. Es el contenido de humedad que tiene el suelo después que ha drenado toda el agua gravitacional y cuando el movimiento capilar del agua se ha vuelto muy lento (Veihmeyer and Hendrickson, 1936). También puede definirse como "el estado de humedad del suelo cuando el agua está retenida por una fuerza equivalente a $1/3$ de atmósferas de presión osmótica".

Este punto es alcanzado por los suelos en un tiempo que varía desde algunas horas hasta 2 ó 3 días después de la lluvia o del riego. La Capacidad de Campo es el límite máximo de humedad del suelo en condiciones de drenaje libre, correspondiente a la saturación capilar. Encima de la Capacidad de Campo el agua ya no es retenida por el suelo y su exceso se infiltra hacia las capas más profundas, a menos que encuentre un obstáculo en su drenaje o que la capa freática está a poca distancia de la superficie, caso en el cual el drenaje se hace sumamente lento, pudiendo llegar a anularse por completo (pantanos).

Un suelo se debe regar hasta que alcance la Capacidad de Campo; toda adición de agua sobre este límite producirá lava

do de sus sales minerales solubles, perjudicará la estructura y, como ya se mencionó, reducirá el aire del suelo, el cual tiene gran importancia para la vida de las plantas.

DETERMINACIÓN

El método más aconsejable para la determinación de la Capacidad de Campo es en el campo mismo directamente, después de una lluvia o saturando el suelo, dejándolo drenar antes de tomar las muestras. Los métodos de laboratorio no ofrecen tanta garantía de exactitud como las determinaciones en condiciones naturales, pero los resultados son lo suficientemente correctos para tomarlos en cuenta. Un método aconsejable es el de Foth y Jacobs (1), el cual consiste en compactar en una probeta un volumen de aproximadamente 100 grs. de suelo secado al horno. A continuación se agregan 10 ml. de agua y a las 24 horas se toma nota del volumen del suelo mojado, en donde se ha establecido un equilibrio capilar equivalente al de la Capacidad de Campo. Otro método, usado en el Laboratorio Agrogeológico del Instituto Agronómico de Campinas, São Paulo, Brasil, se basa en la ascensión capilar del agua en 120 horas (5 días), en un tubo de 1 m. de altura y 20 mm. de diámetro interno, con asentamiento normal de la tierra.

La Capacidad de Campo puede ser determinada también indirectamente, en función de la Humedad Equivalente obtenida en los laboratorios de física de suelos.

(1) Foth and Jacobs - Laboratory Manual for Introductory Soil Science.

BIBLIOGRAFÍA

Colman, E.A. 1946 - A Laboratory Procedure for Determining the Field Capacity of Soil. Soil Sci. 63:277 - 283.

Veihmeyer, F.J. and A.H. Hendrickson, 1938.
Water holding Capacity of Soils and its Effects on Irrigation Practices. Agr. Eng. 19 (11).

Veihmeyer, F.J. and A.H. Hendrickson, 1949-
Methods of Measuring Field Capacities and Permanent Wilting Percentage of Soils. Soil Sci., 68:75-94.

PUNTO DE MARCHITAMIENTO

LITERATURA REVISADA

El primer investigador que se ocupó de la influencia de la textura del suelo en el aprovechamiento del agua por las plantas fue Sachs (1887), el cual encontró que el Punto de Marchitamiento para el tabaco en arena, en un suelo franco y en una mezcla de humus y arena fue de 1.5 8.0 y 12.3% respectivamente.

Briggs and Shantz (1912), trabajando casi únicamente en invernadero, en donde la transpiración de las plantas es muy moderada, y Veihmeyer and Hendrickson (1934), trabajando con distintas clases de plantas en distintas épocas del año, llegaron a la conclusión de que el Punto de Marchitamiento es influido únicamente por la textura del suelo; Furr and Reeve (1945), obtuvieron iguales resultados.

Hendrickson and Veihmeyer (1945), investigando la acción de la temperatura sobre el Punto de Marchitamiento, demostraron que su variación en la gama de 10 a 40° C., raramente excedida en la práctica, no era afectada en forma apreciable. El Punto de Marchitamiento no principia en un contenido definido de humedad del suelo, pero los límites dentro de los cuales se manifiesta caben dentro de una estrecha franja de humedad y en la cual el valor dado como Punto de Marchitamiento es el promedio; según las investigaciones de Hendrickson and Veihmeyer (1945), los límites de esta franja de humedad no exceden el 1.0% para suelos de textura fina ni el 0.5% para suelos de textura gruesa.

GENERALIDADES

Esta constante de suelo es conocida también con los nombres de Punto de Marchitamiento Permanente, Coeficiente de Marchitamiento y Porcentaje de Marchitamiento. Es el contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje, que corres -

ponde al punto en el cual la planta ya no puede extraer suficiente agua del suelo y se marchita permanentemente.

El Punto de Marchitamiento no es un valor exacto ni marca un límite definido en el movimiento del agua del suelo hacia la planta, sino que señala el contenido de humedad en el cual la absorción se hace tan lenta que no se pueden reponer las pérdidas por transpiración, cuyo resultado es la marchitez.

El contenido de humedad en el Punto de Marchitamiento es estable para un suelo dado, pero cambia según su estructura, presentando variaciones desde el 1% en arena, hasta el 25% en arcilla. Casos extraordinarios de retención de agua se encuentran en los suelos turbosos; en un suelo de esta naturaleza que contenga 80 ó 90% de materia orgánica, el porcentaje de humedad en el Punto de Marchitamiento puede ser del 100%.

El tipo de plantas usado en la determinación de esta constante influye en la exactitud de los resultados; las plantas a usar se tienen que llenar dos requisitos, a saber: 1) Deben poseer un sistema radicular fibroso bien desarrollado que se extienda homogéneamente por el suelo, para que el contenido de humedad disminuya parejo. 2) Las hojas deben poseer superficie suficiente para mostrar claramente los síntomas de marchitamiento; plantas de hojas pequeñas y cutinizadas, como el pino, no son recomendables, debido a la gran dificultad para determinar el momento en que comienza el marchitamiento.

La edad de las plantas materialmente no tiene efecto sobre los resultados, ya que los obtenidos con plantitas pequeñas y con plantas grandes han sido los mismos.

El comportamiento de las plantas luego que el suelo ha alcanzado el Punto de Marchitamiento manifiesta diferencias considerables; algunas especies mueren poco después de marchitarse, mientras que otras entran en un período de reposo de sus funciones, como sucede con las plantas de los lugares templados cuando se desarrolla el invierno.

Ya que el Punto de Marchitamiento es estable para un suelo dado, y desde que indica con bastante exactitud el límite inferior de la humedad aprovechable por las plantas, posiblemente ésta sea la constante de suelo más importante para los científicos.

DETERMINACIÓN

El suelo al que se le determinará el Punto de Marchitamiento generalmente se seca al aire y se pasa por un tamiz de 2 cms. La cantidad de suelo no es exacta, ya que algunos investigadores usan de 400 a 500 grs., mientras otros llegan a utilizar el doble o más. Los recipientes a usarse pueden ser latas o vasos de cartón parafinado en donde el suelo va ligeramente asentado. Se plantan tres semillas de girasol en cada recipiente, agregando luego agua suficiente para llevar el contenido de humedad del suelo al de Humedad Equivalente; asegurando de esta manera su completo humedecimiento sin peligro de saturarlo; para encontrar la cantidad de agua necesaria a agregar al suelo, determínese la Humedad Higroscópica y la Humedad Equivalente, y calcúlese en base de estos datos.

Si el suelo no es lo suficientemente fértil, debe agregarse fertilizante en cantidad suficiente para garantizar un desarrollo vigoroso; y si el suelo es muy pesado, dificultando la germinación, es conveniente germinar las semillas aparte y luego transplantarlas al suelo a experimentar. Déjense germinar las semillas y desarrollar las plantitas en invernadero, protegiéndolas de la acción directa de los rayos del sol y rodeando el recipiente con aserrín mojado. Pésese el recipiente con regularidad, y repóngase el agua perdida por transpiración, llevándolo a su peso original. Selecciónese la mejor plantita desechándose las otras, y déjesela crecer hasta que haya desarrollado cuatro pares de hojas además de los cotiledones.

Entonces llévase el suelo a su contenido original de humedad por última vez y cúbrase completamente con una capa de parafina o, si el recipiente tiene tapadera, ábrasele un agu-

jero de unos 10 mm. de diámetro, pásese la planta a través de él y tapónese el espacio entre el tallo y el borde del agujero con algodón. Entonces, las plantas se dejan sin regarse hasta que aparezca el primer signo definido de marchitamiento (marchitamiento del primer par de hojas inferiores). Para determinar si éste es el Punto de Marchitamiento, póngase el recipiente con la planta en una cámara húmeda; déjese así durante la noche, y si las plantas se recobran, el Punto de Marchitamiento no ha sido alcanzado todavía. El recipiente con la planta se lleva de nuevo al invernadero y allí se deja hasta que las hojas se marchiten de nuevo. Chequéese nuevamente con la cámara húmeda y repítase el procedimiento hasta que no haya recuperación. Cuando las hojas inferiores pasen una noche entera en la cámara húmeda sin recuperarse, la tierra del recipiente ha alcanzado el Punto de Marchitamiento Permanente.

Existen dos maneras de calcular el Punto de Marchitamiento a partir de este momento. En la primera (1), se cortan el tallo y las hojas y se pesan; se pesan el recipiente y el suelo y se ponen en un horno a 105°C., secándolo por varios días hasta que alcance un peso constante; la diferencia entre la primera y la última pesada corresponde a la cantidad de humedad presente en el suelo en el Punto de Marchitamiento, y el peso del suelo seco al horno se obtiene por la substracción del peso de la lata de la pesada final. No es necesaria la corrección del peso de las raíces secadas al horno, pero sí hay que corregir la cantidad de agua contenida en éstas y esto se hace asumiendo que el peso de las raíces corresponde a $\frac{1}{2}$ del peso fresco del tallo y de las hojas, los cuales contienen 80% de agua. Por lo tanto, el peso de agua en las raíces será:

$$0.4 \times \text{peso del tallo y de las hojas}$$

Este es un factor empírico que representa el prome -

(1) Marshall, T.J. and R.F. Williams 1942 J. Austr.Inst. Agric. Sci., 8:109-111.

dio de muchas determinaciones experimentales y es suficiente - mente exacto para los propósitos requeridos.

El porcentaje de agua en el Punto de Marchitamiento Per manente será dado por esta fórmula:

$$\frac{\text{Peso de agua en el suelo y raíces} - \text{Peso de agua en raíces}}{\text{Peso de suelo seco al horno}} \times 100$$

El otro método para calcular el Punto de Marchitamiento es por medio de muestras tomadas directamente del recipiente en la zona de máxima distribución de raíces, descartando de la muestra las de mayor tamaño. Algunos experimentadores toman dos muestras, una de la parte superior y otra de la parte inferior del recipiente.

La humedad de estas muestras se determina al horno. Pa ra obtener resultados de una exactitud suficiente, es aconseja- ble hacer 4 ó 5 réplicas por muestra.

BIBLIOGRAFIA

- Briggs, L.J. and H.L. Shantz, 1912 - The Wilting Coefficient and its Indirect determination. *Botan. Gaz.*, 50:20-37.
- Furr, J.R. and J.O. Reeve, 1945 - The Range of Soil Moisture Percentage through which Plants Undergo Permanent Wilting in Some Soils from Semiarid Irrigated Areas. *J. Agr. Research*, 71:149-170.
- Hendrickson, A.H. and F.J. Veihmeyer, 1931 - Permanent Wilting Percentages of Soils Obtained from Field and Laboratory Trials. *Plant Physiol.*, 20:517-539.
- Moinat, A.D. 1932 - Available Water and The Wilting of Plants. *Plant Physiol.* 7:35 - 46.
- Taylor, C.A., H.F. Blaney and W.W. McLaughlin, 1934 - The Wilting Range in Certain Soils and the Ultimate Wilting Point. *Trans. Am. Geophys. Union*, 15:436-444.
- Veihmeyer, F.J. and A.H. Hendrickson, 1928 - Soil Moisture at Permanent Wilting of Plants. *Plant Physiol.* 3:355-357.

AGUA DISPONIBLE

Se llama Agua Disponible del suelo a la cantidad de agua, expresada en porcentaje, que el suelo retiene en forma a provechable para las plantas. El agua disponible del suelo forma parte del agua capilar, pero no toda el agua capilar forma parte del agua disponible, ya que por debajo del Punto de Marchitamiento queda todavía agua capilar, pero ya no utilizable por las plantas.

Por definición, entonces, tenemos:

Agua disponible = Capacidad de Campo — Punto de Marchitamiento.

HUMEDAD EQUIVALENTE

LITERATURA REVISADA

Término introducido por Briggs y McLane en 1907.

Hendrickson and Veihmeyer (1931), encontraron la Humedad Equivalente estrechamente relacionada a la Capacidad de Campo en ciertos suelos de textura fina, pero no hubo relación en suelos arenosos.

Browning (1941), investigó las relaciones existentes entre la Capacidad de Campo y la Humedad Equivalente, encontrando que la proporción es igual a la unidad cuando la Humedad Equivalente es más o menos del 21%; mayor que la unidad cuando la Humedad Equivalente es menor del 21%; y menor que la unidad cuando la Humedad Equivalente es mayor del 21%. En suelos de textura gruesa la Capacidad de Campo puede ser dos veces la Humedad Equivalente.

GENERALIDADES

Conocida también como Equivalente de Humedad, es

el agua expresada en porcentaje que retiene el suelo cuando ha sido sometido a la acción de una fuerza centrífuga 1000 veces mayor que la gravedad. La tensión de la humedad del suelo en el punto de Humedad Equivalente es aproximadamente de $\frac{1}{2}$ atmósfera.

DETERMINACION

El suelo al cual se le va a determinar la Humedad Equivalente se seca al aire y se pasa por un tamiz de 2 mm. Se preparan dos cajas de centrífuga por muestra con un papel filtro cubriendo la rejilla, y se pone en cada una 30 grs. del mismo suelo (estas cajas van opuestas en la centrífuga). Luego se ponen en una bandeja y se agrega agua destilada hasta la altura de media caja, dejándolas así el tiempo necesario para saturar el suelo; entonces se pasan a otra bandeja seca y se cubren con una toalla o con un paño mojado, dejándolas así por 12 horas. Entonces se colocan las cajas en la centrífuga y lentamente se va incrementando la velocidad hasta alcanzar 2440 revoluciones por minuto, manteniéndose esta velocidad por 40 minutos; el porcentaje de humedad de las muestras así tratadas, expresado en base seca, es la Humedad Equivalente.

BIBLIOGRAFÍA

Briggs, L.J. and J.W. McLane, 1907 - The Moisture Equivalent of Soils. U.S. Dept. Agr. Bur. Soils Bull. 45.

Veihmeyer, F.J., J. Oserkowsky and K.B. Tester, 1927 - Some Factors Affecting the Moisture Equivalent of Soils. Proc. Intern. Congr. Soil Sci. 1st. Congr., Ithaca, 1926, 1:512-534.

Veihmeyer, F. J. and A. H. Hendrickson, 1931 - The Moisture Equivalent as a Measure of the Field Capacity of Soils. Soil Sci., 32:181-193.

Work, R.A. and M.R. Lewis, 1934 - Moisture Equivalent, Field Capacity and Permanent Wilting Percentage, and Their Ratios in Heavy Soils. Ag. Eng., 15:1-20.

INFILTRACION

LITERATURA REVISADA

Harding estableció que la máxima profundidad de agua que podría ser retenida contra la fuerza de la gravedad era aproximadamente de 1.25 pulgadas por cada pie de profundidad.

Harris and Jones reportaron que tanto como 18 pulgadas de precipitación podrían ser almacenadas en los 6 pies superiores del suelo a razón de 3 pulgadas por cada pie de profundidad.

En base a estos dos casos, el peso máximo de la película de agua retenida por pie cúbico de suelo oscila entre 6.5 y 15.6 libras (Wisler and Brater). Brodman and Colman (1944), creen que la disminución de la infiltración se debe mayormente al decrecimiento del potencial de humedad, el cual disminuye conforme profundiza el frente húmedo del suelo.

El deterioro de la estructura del suelo causado por operaciones de labranza, algunas veces ocasiona un decrecimiento en la permeabilidad del agua (Parker and Jenny - 1945).

GENERALIDADES

Se conoce por infiltración el proceso por el cual el agua penetra la superficie del suelo supliendo así la deficiencia de humedad existente para luego escurrirse hacia las capas más profundas.

Capacidad de Infiltración se llama el ritmo máximo al cual un suelo en cualquier condición dada es capaz de absorber agua en esta forma.

Cuando llueve sobre un suelo permeable el agua se infiltra y entonces, la fuerza de la gravedad actúa sobre el agua que ha penetrado arrastrándola hacia las capas más profundas. Si el suelo está saturado de humedad, la única fuerza que actúa sobre el agua es la de la gravedad, pero si el suelo está seco, a la

fuerza de gravedad se agrega la fuerza de atracción de las partículas, incrementándose en esta forma la Capacidad de Infiltración; pero este incremento es solamente temporal, ya que las partículas de suelo son capaces de atraer y retener agua contra la acción de la gravedad solamente hasta un cierto espesor límite, al alcanzar el cual, su fuerza molecular se usa solamente para retener esa película de agua y es totalmente inactiva para producir una mayor infiltración.

Un hecho sorprendente en la Capacidad de Infiltración es su gran variabilidad con respecto al tiempo y al área. Al principio de las precipitaciones es cuando se obtiene el valor máximo, decreciendo durante el primer cuarto de hora más o menos, nivelándose luego para aproximarse a un valor constante después de una o dos horas. Posiblemente la Capacidad de Infiltración no es una característica permanente del drenaje de una cuenca, ya que varía incluso en áreas que poseen suelos homogéneos, debido a diferencias en el uso de la tierra y a diferentes clases de cultivos, así como también varía de tiempo en tiempo a través del año, según las estaciones, y también año con año como resultado de la acción de los animales que viven en su interior, de raíces vegetales en descomposición y por la variación del contenido de humedad del suelo.

La lluvia también influye en la Capacidad de Infiltración, compactando el suelo que no está protegido con cobertura vegetal y reduciendo, por lo tanto, su permeabilidad; el golpe del agua puede llegar a crear capas de tierra densa y compacta de un espesor de $1/8$ de pulgada o más en suelos de textura suelta. El efecto de la cobertura vegetal puede ser más importante aún que el suelo mismo, lo que se puede comprobar observando un suelo sin protección, el cual tendrá una superficie dura y compacta, no siendo así cuando está protegido por una espesa capa de humus y de detritos, siendo entonces más suave y teniendo una Capacidad de Infiltración mucho mayor.

Otro factor que influye en la Capacidad de Infiltración de un suelo son los coloides. Los suelos finamente textu

rados contienen más o menos material coloidal; cuando este material se humedece, los coloides se hinchan y obstruyen los poros a través de los cuales el agua se infiltra en el suelo, reduciendo de esta manera la Capacidad de Infiltración. El proceso inverso ocurre cuando estos coloides, saturados de humedad, son atacados por los rayos del sol, encogiéndose al perder el agua; la superficie del suelo se rompe y se desarrollan grietas anchas y profundas, incrementándose grandemente la Capacidad de Infiltración para las primeras fases de la siguiente precipitación.

DETERMINACION

Existen varios métodos para determinar la Capacidad de Infiltración, siendo uno de los principales el del Infiltrómetro, el cual se usa cuando se quieren determinar los efectos de la Infiltración sobre el uso de la tierra, cobertura vegetal y otros factores variables sobre los cuales se quiere tener control para reducir el flujo superficial y prevenir la erosión del suelo.

Hay dos clases de Infiltrómetros que son:

1. Aquellos en los cuales la cantidad de agua que se infiltra en el suelo, se interpreta en el ritmo necesario para mantener una profundidad constante en el Infiltrómetro. Estos infiltrómetros constan de dos aros de diámetro diferente, de 9 y 36 pulgadas generalmente, que se hunden unas cuantas pulgadas en el suelo. El agua se aplica a ambos compartimientos, manteniéndose constante su nivel en los dos. La capacidad de infiltración se determina del ritmo al cual hay que agregar agua en el compartimiento interno para mantener su nivel constante. El anillo externo se usa para prevenir la expansión en un área muy grande del agua del anillo interno.

Existe otro tipo de determinación de la Capacidad de Infiltración basado en este mismo método, en el cual se usa solamente un aro, que se hunde en el suelo a una profundidad mínima igual a la que penetra el agua durante la determinación, para evitar su transmisión inadecuada.

Estos métodos son simples y directos, pero adolecen de tres defectos, los cuales son:

- a) No existe la compactación del suelo ni la proyección de par tículas finas debido al golpe de las gotas de lluvia.
- b) El escape lateral del aire anula el efecto de compresión del aire entrampado.
- c) No es posible introducir el aro en el suelo sin disturbar la estructura que queda contra los bordes.

2. Para eliminar los puntos objetables descritos, se han desarrollado otros tipos de infiltrómetros, que se clasifican en la segunda clase y que se llaman "simuladores de lluvia", los cuales aplican el agua necesaria para la determinación en forma de lluvia artificial y en un ritmo uniforme que es en exceso para la Capacidad de Infiltración, a excepción quizá del primer período. El valor de la infiltración se calcula a partir de la va ri an z a del defludio superficial resultante.

BIBLIOGRAFIA

- Bertoni, J. 1959 - Determinação da velocidade de infiltração da água no solo, por meio de diagramas de pluviógrafos e limnógrafos. Brangantia, Vol. 18, 13:169-198 - Campinas, São Paulo, Brasil.
- Free, G.R., G. M. Browning and G. W. Musgrave 1940 - Relative Infiltration and Related Physical Characteristics of certain soils. U.S.D.A. Technical Bulletin 729.
- Horton, R.E. Surface Runoff Phenomena. Publication 101, Edwards Bros., Ann. Arbor. Mich.
- Israelsen, O.W. 1950 - Irrigation Principles and Practices. 8:168-186. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Wisler, C.O. and E. F. Brater 1949 - Hydrology. 6: 175-197, John Wiley and Sons Inc., New York.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO E INVERNADERO SOBRE LOS SUELOS

DESCRITOS ESTAN EXPRESADOS EN LA TABLA SIGUIENTE :

Serie de Suelos	Prof. (cms)	Clase textural	Peso específico aparente	Por ciento (%) en base seca				Infiltración (pulg. /hora)
				Agua de saturación	Capacidad de Campo	Humedad Equivalente	Punto de Marchitamiento	
Tiquisate	0-40	franco	1.05	41.0	31.4	26.4	18.8	2.30
Escuintla	0-50	franco	0.85	47.2	39.1	38.4	24.6	2.22
Morán	0-30	franco arcilloso	0.86	45.6	34.7	29.6	14.9	0.72
Chocolá	0-30	franco arcilloso	0.75	53.2	46.6	44.3	22.8	0.80

Guatemala, Octubre 18 de 1960

Señor Decano de la
Facultad de Agronomía,
Ing. Marco Tulio Urizar M.
Presente

Señor Decano:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para comunicarle que en cumplimiento de lo resuelto al respecto por la Junta Directiva, he proporcionado al Ingeniero Agrónomo Infieri, Carlos José Krafka G., la Asesoría que se ha servido requerirme para la elaboración de su trabajo de tesis titulado Contribución al estudio de las características físicas de las Series de Suelos Tiquisate, Escuintla, Morán y Chocholá, desde el punto de vista de su aplicación para propósitos de Riego.

Re revisado el trabajo final, y habiéndolo encontrado satisfactorio y ajustado a los principios técnicos en que se basa dicha tesis, le he dado mi aprobación.

Lo que le informo para su conocimiento y efectos consiguientes.

Soy de usted atento y seguro servidor,

Ovidio Amaya Gálvez
Ing. Agr. Asesor.

NOTA FINAL

No me resta más que agradecer la gentil cooperación del personal técnico de la Sección de Suelos del Instituto Agropecuario Nacional, por facilitarme todos los medios para que en sus laboratorios e invernaderos pudiera hacer las determinaciones que permitieron la realización de este trabajo.

Guatemala, Noviembre de 1960.

Carlos J. Kafka G.

Ing. Agr. Ovidio Amaya G.
Asesor

Imprímase

Ing. Agr. Marco T. Urizar M.
Decano