

Universidad Nacional de Colombia
SEDE DE MEDELLIN

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



PRACTICAS PARA LABORATORIO
DE PRINCIPIOS DE RIEGO

JULIO CESAR ARANGO TOBON
Ingeniero Agrícola. M. Sc.
Profesor Asociado

1998

UNAL-Medellin



6 4000 00134324 6

0



I
531.587
A71P

CONTENIDO

	Pág.
PRACTICA N°1 USO DEL ORIFICIO COMO MEDIDOR DE FLUJO	1
PRACTICA N°2 MEDIDA DE FLUJO EN CANALES DE RIEGO UTILIZANDO VERTEDEROS RECTANGULAR Y TRIANGULAR	3
PRACTICA N°3 MEDIDA DE FLUJO EN CANALES DE RIEGO UTILIZANDO EL AFORADOR PARSHALL.	5
PRACTICA N°4 DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERDIDA DE CARGA EN TUBERIA	7
PRACTICA N°5 EL ARIETE HIDRAULICO	8
PRACTICA N°6 MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO Y ELABORACION DE LAS CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD	10
PRACTICA N°7 MEDICION DE LA VELOCIDAD DE PENETRACION DEL AGUA AL SUELO - INFILTRACION	13
PRACTICA N°8 MEDICION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA EN EL LABORATORIO	16
PRACTICA N°9 SALINIDAD	19
PRACTICA N°10 TALLER PARA CLASIFICAR AGUAS PARA RIEGO	21
PRACTICA N°11 NIVELACION DE TIERRAS	29

PRACTICA N°1

USO DEL ORIFICIO COMO MEDIDOR DE FLUJO

OBJETIVO

- Aprender a usar el orificio para medir caudales.
- Aplicación práctica del teorema de Bernoulli y ecuación de continuidad.

MATERIALES Y EQUIPO

1. Canal transparente para laboratorio
2. Orificio en pared gruesa
3. Orificio en pared delgada
4. Regla graduada en ml.
5. Pié de rey o vernier
6. Plastilina
7. Agua

PROCEDIMIENTO

1. Medir el diámetro del orificio.
2. Instalar el orificio en el canal, cerciorándose de que este quede perfectamente horizontal.
3. Colocar en funcionamiento la bomba.
4. Medir la carga sobre el orificio o espesor de la lámina de agua del centro del orificio a la superficie libre del agua en el canal, una vez que el flujo se estabilice.

DATOS, CALCULOS Y RESULTADOS

Con los datos obtenidos: Diámetro y carga sobre el orificio para las situaciones pared delgada y pared gruesa, calcule para el orificio practicado en pared delgada lo siguiente:

- La velocidad y el gasto teórico.
- El gasto real con base en un coeficiente de gasto de 0.61.
- La velocidad en la sección contraída.
- La velocidad y la presión en el orificio, y
- El área de la sección contraída.

Es importante que tenga en cuenta, que el valor de la presión atmosférica en el Laboratorio de Riegos y Drenajes, es de 640 mm. de mercurio.

Además, deberá prestar atención al agua al salir por el orificio practicado en la pared delgada, la cual lo llena completamente, e inmediatamente después, la vena líquida sufre una contracción, que llega a ser extrema en la parte que se llama Sección Contraída.

Seguidamente, calcule el coeficiente de velocidad C_v que es también un coeficiente de gasto, para el orificio practicado en pared gruesa, tomando como gasto para esta pared el gasto real, calculado en el orificio practicado en pared delgada. Observe durante la práctica como en el orificio practicado en pared gruesa se elimina la sección contraída en el chorro, los filetes líquidos no cambian bruscamente de dirección, por lo tanto al salir el líquido, la sección del orificio es igual a la del chorro. Finalmente, presente en forma de tabla los datos y resultados obtenidos.

DISCUSION

En forma breve discuta los resultados.

CONSULTA

- ◆ Indicar las características favorables y desfavorables del uso de los orificios para efectuar la medición del caudal en una acequia o canal del de riego.
- ◆ Determinar los requerimientos básicos para una buena instalación del orificio en un canal de riego.
- ◆ Indique como se determina en el campo la carga sobre el orificio (**h**).

CONCLUSION

Presente las conclusiones que considere pertinente conforme a la práctica realizada.

BIBLIOGRAFIA

Relacione la bibliografía consultada.

PRACTICA N°2

MEDIDA DE FLUJO EN CANALES DE RIEGO UTILIZANDO VERTEDEROS RECTANGULAR Y TRIANGULAR

OBJETIVO

Familiarizar al estudiante con los diferentes tipos de vertederos como elementos aforadores, en lo que respecta a su correcta instalación, toma de datos y utilización de los mismos en las labores de riego.

MATERIALES Y EQUIPOS

1. Canal transparente para laboratorio.
2. Vertedero rectangular de pared delgada y sin contracciones.
3. Vertedero triangular en pared delgada y en ángulo recto.
4. Regla o escala.
5. Agua.
6. Plastilina.

PROCEDIMIENTO

1. Medir la longitud de la cresta del vertedero rectangular antes de instalarlo.
2. Instalar en el canal el vertedero rectangular cuidando que quede en posición horizontal (Pendiente cero).
3. Medir la distancia desde el fondo del canal a la cresta del vertedor.
4. Colocar en funcionamiento la bomba.
5. Una vez que el flujo se estabilice, se mide la carga del vertedor a una distancia igual a cinco veces la carga sobre el vertedero.

NOTA: Con la escala que hay instalada en una de las paredes del canal, se mide la altura desde la base del canal hasta la superficie libre del agua y por diferencia con el valor obtenido en el numeral tres, se obtiene la carga del vertedor (H).

6. Instalar en el canal el vertedero triangular.
7. Medir la distancia desde el fondo del canal al vértice del ángulo recto del vertedor.
8. Colocar en funcionamiento la bomba.

9. Una vez que el flujo se estabilice se mide con la escala que hay instalada en una de las paredes del canal, la altura desde la base del canal hasta la superficie libre del agua y por diferencia con el valor obtenido en el numeral siete, se obtiene la carga del vertedor.

Durante la práctica observe:

- El movimiento del agua en el vertedor.
- La depresión de la lámina vertiente junto al vertedor.
- La ventilación en el vertedor, debajo de la lámina vertiente.
- La velocidad del agua en el canal.

DATOS, CALCULOS Y RESULTADOS:

Con los datos obtenidos: Carga del vertedor, longitud de cresta, número de contracciones laterales, calcule el caudal que circulará en cada condición con la utilización de las siguientes fórmulas:

Fórmula de Francis para vertedores rectangulares de pared delgada:

$$Q = 1,84 (L - 0.1nH) H^{3/2}$$

- Q: Caudal en m^3/s
- K: Coeficiente ($K = 1,84$)
- L: Longitud de cresta en m.
- n: Número de contracciones laterales (0, 1, 2)
- H: Carga del vertedor en m.

Fórmula de Thomson para vertederos triangulares:

$$Q = 1,4 H^{5/2}$$

- Q: Caudal en m^3/s
- H: Carga del vertedor en m.
- C: Coeficiente ($c = 1,4$)

Finalmente, presente en forma de tabla los datos y resultados obtenidos.

DISCUSION

Haga una breve discusión de la práctica, indicando las dificultades y los requisitos necesarios para una correcta instalación. Discuta las ventajas y desventajas que ofrecen los vertederos respecto al orificio para medir caudales en el campo.

CONSULTAS

1. Como influye la velocidad de llegada del agua en la fórmula de Francis para vertedero rectangular de pared delgada.
2. De acuerdo con los datos obtenidos en la práctica para el cálculo del gasto utilizando el vertedero rectangular, determine si la velocidad de llegada tiene influencia en este cálculo del gasto, sustente la respuesta.
3. Por qué es importante la ventilación de la lámina vertiente en un vertedero rectangular de pared delgada.
4. Cómo determinaría en el campo la carga del vertedor, en los vertederos rectangular y triangular.

CONCLUSION

Presente las conclusiones que considera pertinente conforme a la práctica realizada.

BIBLIOGRAFIA:

Relacione la bibliografía consultada.

PRACTICA N°3

MEDIDA DE FLUJO EN CANALES DE RIEGO UTILIZANDO EL AFORADOR PARSHALL

OBJETIVO

Obtener un conocimiento detallado del aforador Parshall, establecer los requisitos necesarios para una correcta instalación y observar el funcionamiento de esta estructura aforadora.

MATERIALES Y EQUIPO

1. Canal para laboratorio.
2. Canaleta Parshall.
3. Plastilina.
4. Agua.
3. Regla o escala.

PROCEDIMIENTO

1. Determine el tamaño del aforador Parshall (w).
2. Efectue la instalación del aforador Parshall en el canal transparente del laboratorio.
3. Accione la motobomba y cuando el flujo en el canal se halla estabilizado, mida la altura del agua en los pozos de quietamiento que están en la entrada y la garganta de la estructura.

Observe cuidadosamente la circulación del agua a la entrada, en la garganta y en la salida del aforador y tenga presente que las cargas H_a y H_b son a partir de la cota de la cresta y por lo tanto el cero de las escalas está al nivel del piso de la entrada. Las escalas están ubicadas directamente sobre las paredes de la estructura.

DATOS CALCULOS Y RESULTADOS

Con los datos obtenidos: tamaño del aforador, altura del agua antes de la cresta (H_a); altura del agua después de la cresta (H_b), calcule el grado de sumersión para establecer si el medidor trabaja con descarga libre o con sumersión.

Posteriormente con el uso de la ecuación: $Q = m H_a^n$ en donde: Q (m^3/s) ; H_a (m)
Determine el caudal en m^3/s .

Los valores de m y n varían con el tamaño del aforador Parshall. Para determinarlos deberá utilizar la tabla XVIII del libro Hidráulica de Samuel Trueba Coronel y graficar en papel milimetrado w contra m y w contra n . Posteriormente entrará a dichas gráficas con

el valor de w correspondiente al tamaño del aforador utilizado en la práctica y determinará los valores correspondientes a m y n .

Finalmente, presente en forma de tabla los datos y resultados obtenidos.

DISCUSION

Haga una breve discusión sobre la práctica, indique las ventajas y desventajas de ésta estructura aforadora con respecto al orificio y al vertedero.

CONSULTAS

1. Explique en detalle el funcionamiento del aforador Parshall.
2. Qué se entiende por grado de sumersión?
3. Indique los criterios a tener en cuenta para el tamaño más adecuado del aforador.
4. En qué casos resulta mejor instalar un aforador Parshall?
5. En qué casos resulta mejor instalar un orificio?
6. En qué casos resulta mejor instalar un vertedero?

CONCLUSION

Presente las conclusiones que considere pertinente conforme a la práctica realizada.

BIBLIOGRAFIA

Relacione la bibliografía consultada.

PRACTICA N°4

DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE PERDIDA DE CARGA EN TUBERIA

OBJETIVO

El objetivo de esta práctica es determinar el coeficiente de pérdida de carga hidráulica en un tubo que conduce agua.

MATERIALES Y EQUIPO

- Un orificio calibrado para medir el caudal
- Un manómetro diferencial para medir la diferencia de presiones del fluido entre dos puntos de un tubo.
- Una bomba para hacer circular agua en el tubo.
- Un tramo de tubo.

PROCEDIMIENTO

Ponga en funcionamiento la bomba y abra las válvulas que permitan circular agua en el tubo en cuestión. Mida el caudal que circula por el tubo, haciendo uso del orificio calibrado; luego mida el diámetro y la longitud del tubo entre las secciones donde están colocados los extremos del manómetro diferencial y mida la diferencia de presiones en el manómetro.

RESULTADO

Con los anteriores datos calcule la pérdida de carga en la tubería estudiada.

DISCUSION

Discuta brevemente los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFIA

Relacione la bibliografía consultada.

PRACTICA N°5

EL ARIETE HIDRAULICO

OBJETIVO

Conocer el ariete hidráulico, las partes que lo constituyen, el principio de funcionamiento y su utilidad práctica.

MATERIALES Y EQUIPO

1. Ariete hidráulico.
2. Tanque de almacenamiento de agua.
3. Tubería PVC presión $\phi=1$
4. Manguera de polietileno de $\phi=1/2''$
5. Llave de expansión.
6. Balde.
7. Reloj con segundero o cronómetro.
8. Mira de topografía.

PROCEDIMIENTO

1. Desarme el ariete y observar sus partes.
2. Arme el ariete e instalelo.
3. Mida la cabeza de altura (**h**), ó sea la altura medida desde el nivel de agua en el tanque de carga hasta la válvula de ímpetu en el ariete.
4. Mida la altura máxima de entrega (**H**), ó sea la altura tomada desde la base del ariete hasta donde se eleva el agua.
5. Determine el caudal (**q**) en litros / minuto, en el punto de altura máxima de entrega utilizando el método de aforo volumétrico.

Durante la práctica observe:

- ◆ El tanque de carga.
- ◆ La tubería de recibo o entrada al ariete.

- ◆ El número de golpes de la válvula de ímpetu.
- ◆ La tubería de descarga.

DATOS CALCULOS Y RESULTADOS

Con los datos obtenidos: cabeza de altura (**h**), altura máxima de entrega (**H**), caudal de entrega (**q**), calcule la eficiencia del ariete utilizando la fórmula:

$$E_f = 0.9 - 0.16(H/h)^{1/2} \quad (\text{ariete viejo})$$

Posteriormente halle el caudal recibido por el ariete en litros/minuto utilizando la ecuación

$$Q = \frac{q \times H}{E_f \times h}$$

- Q: Caudal recibido por el ariete en litros/minuto.
 q: Caudal entregado por el ariete en litros/minuto.
 H: Altura máxima de entrega en metros.
 h: Cabeza de altura, en metros.
 Ef: Eficiencia del ariete en decimal.

Finalmente, presente en forma de tabla los datos y resultados obtenidos.

DISCUSION

Haga una breve discusión de la practica, indicando las dificultades y los requisitos necesarios para una correcta instalación del ariete. Discuta las ventajas y desventajas que ofrece el ariete hidráulico para suministrar agua con respecto a una motobomba eléctrica o a Gasolina.

CONSULTAS

1. Qué, se entiende por golpe de ariete.
2. Averiguar los tipos, tamaños y precios de los arietes hidráulicos existentes en el mercado.
3. Haga una breve presentación de las normas que se requieren para instalar el ariete hidráulico y el mantenimiento que se debe dar.
4. Como se calcula la longitud óptima que debe tener la tubería de recibo o entrada al ariete.

5. Enuncie los cuidados que se deben tener para el funcionamiento del ariete.
6. Indique los aspectos a tener en cuenta para seleccionar el tamaño del ariete.

CONCLUSION

Presente las conclusiones que considere pertinentes conforme a la práctica realizada.

BIBLIOGRAFIA

Relacione la bibliografía consultada.

PRACTICA N°6

MEDICION DE LA HUMEDAD DEL SUELO Y ELABORACION DE LAS CURVAS DE RETENCION DE HUMEDAD

OBJETIVO

- Conocer los métodos usados para determinar el grado de humedad del suelo, y establecer familiaridad con el manejo e instalación de equipos que indican el momento oportuno para regar.
- Determinar el porcentaje de humedad de un suelo para tres tensiones diferentes 1/3, 1 y 3 atmósferas y efectuar elaboración de la curva de retención de humedad del suelo.

MATERIALES Y EQUIPO

1. Tensiómetro
2. Bloques de yeso
3. Medidor de Bouyoucus
4. Bloques de Nylon
5. Suelo tamizado
6. Estufa con regulación de temperatura a 105 ° C.
7. Balanza analítica con aproximación de 0.1 gr.
8. Compresor de aire
9. Controles de presión
10. Olla de presión
11. Placas de cerámica
12. Taras
13. Espátula
14. Anillos de caucho

PROCEDIMIENTO:

A. Equipos utilizados para determinar el momento oportuno de riego:

1. Utilización del tensiómetro para medir la condición de retención de agua del suelo.
2. Utilización del medidor de Bouyoucus para determinar el contenido de humedad disponible en el suelo.

3. Observar el manejo de los bloques (nylón , yeso) utilizados para medir la necesidad de agua de un cultivo en un momento determinado.

B. Metodología para determinar el porcentaje de humedad de un suelo:

1. Tome de las muestras de suelo que han sido secadas al aire libre y tamizadas por una malla de 2 mm. en el laboratorio la cantidad requerida, para determinarle el porcentaje de humedad del suelo, al ser sometido a tensiones diferentes.

2. Colocar tres muestras de cada suelo seleccionado dentro de los anillos de caucho y sobre las placas de cerámica, a continuación se procede a saturarlas y finalmente se dejan drenar libremente por un tiempo no inferior a 24 horas.

3. Llevar las muestras presentes en la placa de cerámica a la olla de presión, tapar y aplicar presiones de 0.3, 1, 3 atmósferas respectivamente durante un tiempo aproximado de 48 horas o más, hasta que el agua deje de fluir por el tubo de drenaje de la olla de presión.

4. Retire la placa de cerámica de la olla de presión y transfiera cada una de las muestras a las taras que con anterioridad han de haber sido pesadas, seguidamente pese las taras con el suelo húmedo.

5. Coloque las taras con el suelo húmedo en la estufa y sometalas a un secado a temperatura de 105°C durante 24 horas, tiempo estimado para obtener peso constante.

6. Retire las taras de la estufa, dejelas enfriar y luego peselas.

DATOS, CALCULOS Y RESULTADOS

Al finalizar el procedimiento anterior se obtiene el peso del suelo húmedo y seco para cada una de las tres presiones con las que se trabajó, iguales a la tensión a la cual se va a determinar el porcentaje de humedad correspondientes a las muestras de suelo que se utilizaron con estos datos, luego con la siguiente expresión calcule el porcentaje de humedad promedio del suelo correspondiente a cada una de las presiones aplicadas 0.3, 1, 3 atmósferas.

$$Pw = \frac{Sw - Sd}{Sd} \times 100$$

Pw: Porcentaje de humedad con base al peso del suelo seco.

Sw: Peso del suelo húmedo.

Sd: Peso del suelo disecado.

Finalmente presente en forma de tablas los datos y resultados obtenidos.

Los valores del porcentaje de humedad obtenidos para cada una de las tensiones llévelos a un papel semilogarítmico en el cual, la escala logarítmica sea la de las tensiones o presiones aplicadas y la escala aritmética la del porcentaje de humedad. Con estos tres puntos obtiene la "Curva de retención de humedad del suelo de la muestra utilizada".

DISCUSION:

Haga una breve discusión de la práctica.

CONSULTAS

1. Porqué existe una curva de retención para cada tipo de terreno?
2. Qué relación existe entre la tensión de retención de agua por el suelo y el porcentaje de humedad?
3. Indique cuál es el intervalo de funcionamiento del tensiómetro?
4. Explique en detalle el uso del tensiómetro para:
 - ◆ Medir fluctuaciones de la capa freatica.
 - ◆ Medir el movimiento del agua en suelos salinos.
 - ◆ Riego automático.
 - ◆ Determinar el volumen de la aplicación de agua.
 - ◆ Controlar y modificar los caudales asignados a diferentes cultivos.
5. De qué depende el número de tensiómetros requeridos por cada parcela.
6. Cuándo en un suelo no debe utilizarse los bloques de yeso. ?
7. Qué otros métodos se utilizan para determinar la curva de retención de humedad?

CONCLUSION

Presente las conclusiones que considere pertinentes conforme a la práctica realizada.

BIBLIOGRAFIA

Relacione la bibliografía consultada.

PRACTICA N°7

MEDICION DE LA VELOCIDAD DE PENETRACION DEL AGUA AL SUELO - INFILTRACION

OBJETIVO

- Medir la cantidad de agua infiltrada en un suelo durante un tiempo dado, por el método de los anillos cilindros.
- Familiarizar a los estudiantes con el método para determinar los parámetros de las ecuaciones de las curvas de infiltración instantánea y acumulada en un suelo.

MATERIALES Y EQUIPO

1. Cilindro de lámina galvanizada calibre 16, $\phi=28.5$ cms., $h=40$ cms.
2. Cilindro de lámina galvanizada calibre 16, $\phi= 44$ cms., $h=26$ cms.
3. Medidor de gancho.
4. Plástico delgado.
5. Almadana.
6. Regla.
7. Cronómetro.
8. Caneca.



PROCEDIMIENTO

1. Seleccione el sitio de instalación del infiltrómetro teniendo en cuenta lo siguiente:
 - Que sea representativo del lote para el cual se requieren los datos.
 - Que no presente señal de haber sufrido disturbación superficial.
 - Que el contenido de la humedad del suelo sea el aconsejado para hacer el riego.
2. Entierre en el suelo los dos cilindros, primero el de diámetro mayor a una profundidad de 10 cms., el otro a una profundidad de 15 cms., tenga cuidado de colocarlos concéntricamente.

3. Se coloca el plástico delgado dentro del cilindro interior para impedir filtración antes de iniciar los registros, y se llena con agua hasta unos 10 a 15 cms.
4. Se coloca la reglilla dentro del cilindro interior para efectuar las mediciones.
5. Aplique agua a la corona o espacio entre los dos cilindros hasta una altura de unos 5 a 10 cms. y manténgalo aproximado a este nivel durante el tiempo del ensayo (la razón consiste en obligar a que se efectúe un movimiento vertical del agua dentro del suelo, en el cilindro interior).
6. Mida la altura de la lámina de agua en el infiltrómetro y retire el plástico delgado iniciando las lecturas de tiempo y alturas de agua.

DATOS, CALCULOS Y RESULTADOS

Con los datos entregados de tiempo acumulado en minutos y lámina de agua acumulada en centímetros, correspondientes a una prueba de infiltración específica, calcule la infiltración instantánea y gráfiquela en un sistema de ejes cartesianos al igual que la infiltración acumulada a través del tiempo, el eje de las "y" del lado izquierdo debe representar la infiltración instantánea y el del lado derecho la lámina acumulada, en el eje de las "X" debe ir el tiempo acumulado. Con base en estas gráficas determinar el valor de la infiltración básica.

Siguiendo la metodología de los mínimos cuadrados encuentre las ecuaciones de la infiltración acumulada (d) y velocidad instantánea de infiltración (I). Si los datos son correctos resulta una curva cuya ecuación es del tipo $d = bt^m$ la ecuación se vuelve $\text{Log } d = \text{Log } b + m \text{log } t$, dibujándola en papel doblemente logarítmico donde $\text{Log } d = y$; $\text{Log } b = b$ y $\text{Log } t = x$, en la ecuación $y = mx + b$.

La ecuación de la velocidad instantánea de infiltración (I) se encuentra derivando la expresión correspondiente a la infiltración acumulada (d); por lo cual se obtendrá una ecuación del tipo $I = at^n$ la que deberá graficarse en papel doblemente logarítmico.

DISCUSION

Discuta brevemente los resultados.

CONSULTAS

1. Explique en detalle porque la capacidad de infiltración de un suelo depende de factores tales como: textura, estructura, grado de compactación del suelo, estado de humedad de los suelos, temperatura del agua y del suelo, del espesor de agua empleado para el riego, la permeabilidad al agua de la sección de suelo, las condiciones de la superficie, la cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica.

2. Qué otros métodos existen para efectuar la medida de la capacidad de infiltración de un suelo. Explíquelos.?
3. Qué haría usted para regar un suelo que tiene una capacidad de infiltración menor de 3 mm./hora.?
4. Qué es la tasa de infiltración básica y para que sirve?
5. Qué sucede cuando se presenta una lluvia que supera la capacidad de infiltración de un suelo?
6. Porqué es indispensable el conocimiento de la infiltración en una agricultura sometida al riego?

CONCLUSION

Presente las conclusiones que considere pertinentes conforme a la práctica realizada.

BIBLIOGRAFIA

Relacione la bibliografía consultada.

PRACTICA N°8

MEDICION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA EN EL LABORATORIO

OBJETIVO

Determinar la conductividad hidráulica de un suelo por el método del permeámetro de cabeza constante y hallar la curva de permeabilidad del suelo a través del tiempo.

MATERIALES Y EQUIPO

1. Suelo
2. Agua
3. Canal para agua
4. Permeámetro de cabeza constante sección cilíndrica
5. Pie de rey
6. Probeta
7. Balanza
8. Regla
9. Cronometro
10. Mangueras de polietileno
11. Papel de filtro

PROCEDIMIENTO

1. Pese 150 gramos de suelo.
2. Mida la altura del permeámetro, el diámetro de su sección transversal y el diámetro del tubo de drenaje ubicado en la parte inferior del permeámetro.
3. Tome el permeámetro y coloque en su fondo una malla de lámina circular y sobre ella, coloque un papel de filtro para obtener un mínimo de alteración de la muestra de suelo; la cual se coloca dentro del permeámetro de un solo movimiento.
4. Dé 20 golpes al permeárnetro desde una altura $\pm 2,0$ cms. y sobre una base de madera.
5. Coloque encima de la superficie del suelo en el permeámetro un papel de filtro, con el fin de evitar que suelos que sean muy livianos suban a la superficie del permeámetro al adicionar agua. Seguidamente mida la altura desde la superficie del suelo en el permeámetro hasta la parte superior del mismo.

6. Conecte el pequeño tubo que sobresale del cilindro del permeámetro, en la parte superior, un pedazo de manguera de polietileno, la cual se conecta en su otro extremo al canal con agua; efectuándose así la aplicación de agua al permeámetro.
7. Coloque la probeta debajo del tubo de drenaje del permeámetro con el fin de recoger el agua cuando empiece a fluir.
8. Efectue las lecturas desde el momento inicial del escurrimiento y continúelas hasta que la cantidad de agua que sale en un intervalo de tiempo fijo (por ejemplo 5 minutos) sea constante; cuando esto suceda se encuentra el valor de la conductividad hidráulica.

DATOS, CALCULOS Y RESULTADOS

Con los datos obtenidos:

- ◆ Altura en centímetros de la columna de suelo utilizada.
- ◆ Altura total del permeámetro (cms.).
- ◆ Altura en el permeámetro después de que se ha compactado el suelo (en cms.).
- ◆ Volumen acumulado de agua en centímetros cúbicos que sale del permeámetro en el intervalo de tiempo asumido (por ejemplo de 5 mín.).
- ◆ El área transversal en cm de la columna de suelo y la carga total del agua sobre el suelo (en cms.).

Calcule la conductividad hidráulica en cm. / minuto aplicando la siguiente ecuación:

$$K = \frac{L \times v}{A \times t \times H_f}$$

Handwritten notes:
 $K = \frac{L \times v}{A \times t \times H_f}$
 unidades

Donde:

K: Conductividad hidráulica en cm./minuto.

L: Altura en cm. de la columna de suelo.

$$L = h - h'$$

h: altura del permeámetro (en cm.)

h': altura en el permeámetro después de que se ha compactado el suelo en cm.

V: Volumen acumulado de agua en centímetros cúbicos que sale del permeámetro en el intervalo de tiempo asumido.

t: Intervalo de tiempo asumido en minutos.

A: Área transversal en cm^2 de la columna de suelo, la cual es igual al área de la sección cilíndrica del permeámetro.

$$A = \pi D^2/4$$

D: Diámetro del permeámetro

Hf: Cabeza hidráulica en cm. ó sea la carga total del agua sobre el suelo.

Presente la curva de permeabilidad del suelo a través del tiempo, gráficamente en papel milimetrado los valores de conductividad hidráulica K en el eje de las "y", y en el intervalo de tiempo asumido en minutos en el eje de las "X", encuentre el valor correcto de la conductividad hidráulica correspondiente al tipo de suelo con que trabajó en el laboratorio y clasifíquelo de acuerdo con tablas que al respecto existen.

DISCUSION:

Haga una breve discusión sobre la práctica. Indique las ventajas y desventajas de determinar la conductividad hidráulica de un suelo utilizando el permeámetro de cabeza constante.

CONSULTAS

1. Qué diferencia existe entre permeabilidad y conductividad hidráulica y entre permeabilidad e Infiltración?.
2. Explique en detalle porque es importante el conocimiento de la permeabilidad para un proyecto de adecuación de tierras.
3. Enuncie y explique otros métodos utilizados para medir la permeabilidad.
4. Enuncie y explique los factores que afectan la permeabilidad.
5. De que depende la permeabilidad de un suelo.

CONCLUSION:

Presente las conclusiones que considere pertinentes conforme a la práctica realizada.

BIBLIOGRAFIA

Relacione la bibliografía consultada.

PRACTICA N°9

SALINIDAD

OBJETIVO

- Medir la salinidad del agua y el suelo.
- Familiarizar a los estudiantes con el uso del conductivímetro y las aplicaciones que tienen los datos obtenidos.

MATERIALES Y EQUIPO

1. Conductivímetro
2. Cilindro graduado de 1000 milímetros
3. Recipiente plástico
4. Matríz
5. Bomba de vacío
6. Recipiente de porcelana
7. Embudo Buckner
8. Probeta

PROCEDIMIENTO

1. Mida un litro de agua y disuélvale 1.5 gramos de Cloruro Sódico (NaCl); a ésta, que ha de ser el agua de riego, determínele la conductividad eléctrica. Si la conductividad excede el rango de lecturas del conductivímetro diluya en más agua destilada hasta encontrar un valor que caiga en dicho rango.
2. Tome una muestra de suelo, dépositela en el recipiente de porcelana, agregue agua destilada y obtenga con la ayuda de una espátula una pasta de saturación, pásela luego al embudo Buckner colocando previamente un papel de filtro sobre éste. A continuación asiente el embudo en el matríz y accione la bomba de vacío durante un tiempo tal que permita obtener una cantidad de agua suficiente para determinar la conductividad eléctrica.

3. Determine la cantidad de agua aplicada y la conductividad eléctrica al agua de drenaje, mida la cantidad de agua de drenaje.
4. Una vez que finalice el drenaje, efectúe el procedimiento presentado en el punto dos.
5. Recoja la muestra de agua filtrada y determine la conductividad eléctrica.

DATOS, CALCULOS Y RESULTADOS

Presente en forma de tabla los datos y resultados obtenidos.

DISCUSION

En forma breve discuta los resultados obtenidos.

CONSULTAS

1. Porque se afirma que la salinidad del suelo varia con el contenido de humedad del mismo.
2. Explique en detalle los efectos de la salinidad sobre las plantas y el suelo.
3. Indique las prácticas agrícolas que ayudan a determinar los efectos nocivos de las sales.
4. Que relación existe entre la conductividad eléctrica del agua de riego y la de la solución del suelo.
5. Qué cuidados deberán tenerse en cuenta para efectuar el lavado de sales en suelos salinos no sódicos y suelos sódicos.

CONCLUSION

Presente las conclusiones que considere pertinente conforme a la práctica realizada.

BIBLIOGRAFIA

Relacione la bibliografía consultada.

PRACTICA N°10

TALLER PARA CLASIFICAR AGUAS PARA RIEGO

OJETIVOS

- Determinar los criterios más importantes para clasificar un agua para riego.
- Mostrar la tolerancia de varios cultivos a diferentes concentraciones de sal.
- Interpretar los resultados de un análisis de agua.
- Hacer algunas comprobaciones con los resultados obtenidos.

DESARROLLO

Para clasificar un agua para riego se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- Criterio Salinidad.

Evalúa el riesgo de que el uso del agua ocasione altas concentraciones de sales, con el correspondiente efecto osmótico y disminución de rendimiento de los cultivos.

El criterio de salinidad Se basa en índices que expresan la concentración de sales del agua de riego. El más utilizado es la conductividad eléctrica (CE) de dicha agua. La CE de una solución es directamente proporcional a su concentración.

Clasificación de Richards.

En 1954, Richards, del U.S. Salinity Laboratory Riverside, California establecio la siguiente clasificación del agua de riego en función de su CE.

Clasificación de Richards

INDICE	SALINIDAD CE (umhos/cm)	RIESGO DE SALINIDAD
1	100 - 250	Bajo
2	250 - 750	Medio
3	750 - 2250	Alto
4	> 2250	Muy Alto

Existen otras clasificaciones como la del Comité de Consultores de la Universidad de California y la propuesta por Ayers y Westcot en 1976 en documentos de la FAO. Para el ejercicio se utilizara la de Richards que ha sido talvés la más divulgada y extendida de todas.

CLASE DE AGUAS DE ACUERDO A LA SALINIDAD EFECTIVA

Clase	Salinidad Efectiva (me/l)
Buena	< 3
Condicionada	De 3 a 15
No Recomendable	> 15

CLASE DE AGUAS DE ACUERDO A LA SALINIDAD POTENCIAL

Clase	Salinidad Potencial (me/l)
Buena	< 3
Condicionada	De 3 a 15
No Recomendable	> 15

- Criterio Sodicidad.

Analiza el riesgo de que se induzca un elevado porcentaje de sodio intercambiable PSI, con deterioro de la estructura del suelo.

Un alto contenido de sodio en el agua de riego puede inducir elevados valores de PSI en el suelo, con sus efectos consiguientes de pérdida de estructura por dispersión e hinchamiento.

CLASIFICACION DE UN AGUA DE RIEGO EN FUNCION DE SU RAS SEGUN RICHARDS (1954).

Clasificación	RAS para	
	CE = 100 umhos/cm	CE = 750 umhos/cm
S1 Baja Sodicidad	0 - 10	0 - 6
S2 Media Sodicidad	10 - 18	6 - 12
S3 Alta Sodicidad	18 - 26	12 - 18
S4 Muy Alta Sodicidad	> 26	> 18

Clase de agua de acuerdo a la Relación de Adsorción de Sodio.

Clase	RAS
Buena	< $18.87 - 4.44 \log (CE \times 10^6)$
Condicionada	entre $18.87 - 4.44 \log (CE \times 10^6)$ y $43.75 - 8.87 \log (CE \times 10^6)$
No Recomendable	> $43.75 - 8.87 \log (CE \times 10^6)$

Clase de agua de acuerdo al Carbonato de Sodio Residual

Clase	CSR (me/l)
Buena	< 1.25
Condicionada	de 1.25 a 2.5
No Recomendable	> 2.5

Clase de agua de acuerdo al Porcentaje de Sodio Posible

Clase	PSP
Buena	< 50
Condicionada	> 50

- Criterio Toxicidad.

Estudia los problemas que pueden crear determinados iones. Aca se tiene en cuenta las sales tóxicas específicas; es decir los efectos tóxicos de determinados iones: Boro, Cloro.

Clase de aguas de acuerdo al contenido de Boro

Clase	Boro (ppm)
Buena	< 0.3
Condicionada	de 0.3 a 4.0
No Recomendable	> 4.0

Clase de agua de acuerdo al contenido de Cloruro

Clase	Cloruro (me/l)
Buena	< 1.0
Condicionada	de 1.0 a 5.0
No Recomendable	> 5.0

Procedimiento de clasificación.

Con base en las características químicas obtenidas por análisis de laboratorio, se determina si la calidad de agua es buena o no recomendable para riego; o bien, si requiere información sobre tolerancia del cultivo, características del suelo y condiciones de manejo donde va a ser usada, en cuyo caso el agua quedará como condicionada. Conocidos esos requerimientos puede decirse si se puede usar o no y bajo que recomendaciones.

Para facilidad de tratamiento las aguas se separan en dos grupos, las que tienen menos del 20% de carbonatos más bicarbonatos en relación al total de aniones y las que tienen más del 20%; cada una tendrá un tratamiento diferente en la clasificación.

Primer Caso: Aguas con menos de 20% de carbonatos más bicarbonatos.

Para estas aguas se determinan los siguientes índices:

- ◆ Para estimar el efecto de las sales solubles, la conductividad eléctrica; si ésta es menor de 250 micromhos el agua se clasifica como buena, pero si es mayor se utilizará complementariamente la salinidad potencial (SP).
- ◆ Para estimar el efecto del sodio sobre el suelo se usarán los índices RAS, CSR.
- ◆ Contenido de elementos tóxicos, se determinan B y Cl.

Para clasificar por CE y RAS se utiliza el gráfico en donde están definidas 16 clases de agua: C₁S₁ C₂S₁ C₃S₁ C₄S₁ C₁S₂ C₁S₃ ... ect.

Para clasificar por SP, CSR, B, Cl utilice las tablas correspondientes.

Segundo Caso: Aguas con más del 20% de carbonatos más bicarbonatos.

Para estimar la peligrosidad de las sales solubles se consideran los siguientes índices: CE, SE, SP. Se utiliza inicialmente el índice $CE \times 10^6$. Si ésta es mayor de 250, entonces para clasificar las aguas se emplean los índices SE, SP.

Para estimar el efecto del sodio sobre el suelo se utilizan los índices CSR y PSP.

Contenido de elementos tóxicos, se determinan B y Cl.

Agua recomendable.

Clasificadas las aguas de acuerdo con los índices anteriores el agua se considera buena si estos tienen los valores presentados a continuación:

**AGUAS CON MENOS DEL 20%
DE CO₃ + HCO₃**

- a) C₁S₁
- b) SP < 3 me/l
- c) CSR < 1.25 me/l
- d) B < 0.3 ppm
- e)*Cl < 1.0 me/l
- f) PSP < 50%

**AGUAS CON MAS DEL 20%
DE CO₃ + HCO₃**

- a) $CE \times 10^6 < 250$, o SE < 3 me/l
- b) SP < 3 me/l
- c) CSR < 1.25 me/l
- d) B < 0.3 ppm
- e) Cl < 1.0 me/l

* El índice Cl solo se empleará si se tienen cultivos sensibles cuyas tolerancias se conozcan.

Estas aguas pueden ser utilizadas para el riego de la gran mayoría de los cultivos, en la generalidad de los suelos, con el mínimo de cuidados en el manejo de suelos y aguas.

Para que un agua estudiada sea clasificada como buena para riego, debe cumplir con el requisito que el valor de los índices que deba cumplir estén por debajo del límite establecido para esa condición, basta que uno de ellos no se cumpla para que se descalifique como tal.

Para definir la calidad de un agua, que con base al análisis químico haya sido declarada condicionada se requiere conocer el grado de tolerancia del cultivo y las características del suelo, para dar un manejo adecuado.

Agua no recomendable.

El agua se considera no recomendable si uno o más índices rebasan los valores siguientes:

**AGUAS CON MENOS DE 20%
DE $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$**

a) C_4S_i y/o $C_i S_4$
($i=1,2,3,4$), y/o

b) $S_p > 15$ me/l; y/o

c) $CSR > 2.5$ me/l; y/o

d) $B > 4.0$ ppm; y/o

e) $Cl > 5$ me/l

**AGUAS CON MAS DE 20%
DE $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$**

a) $SE > 15$ me/l; y/o

b) $S_p > 15$ me/l; y/o

c) $CSR > 2.5$ me/l; y/o

d) $B > 4.0$ ppm; y/o

e) $Cl > 5$ me/l

Estas aguas no se recomiendan para ser empleadas directamente y de manera permanente en el riego de la mayoría de los suelos y cultivos bajo las prácticas usuales de manejo; a menos que sean mezcladas con otras de mejor calidad, de manera que los índices de la mezcla no rebasen los valores señalados.

Agua condicionada.

Cuando los valores de los índices estén comprendidos entre los extremos señalados, la calidad del agua no puede ser definida con base exclusivamente a sus características químicas; sino que se requiere información adicional sobre cultivos y suelos en los que va ser empleada, así como las condiciones de manejo del suelo, agua y condiciones climatológicas.

Notas importantes:

- ◆ La influencia del cultivo para determinar la conveniencia o limitación del empleo del agua clasificada preliminarmente como condicionada, se define de acuerdo con la tolerancia del cultivo a los diferentes índices.
- ◆ La concentración de sales en el agua de riego, al pasar a formar parte de la solución del suelo, aumenta alrededor de 5 veces, si se mide en el extracto de saturación del suelo. Por lo anterior, la salinidad permisible en el agua de riego para un cultivo dado, es aproximadamente 5 veces menor que la permisible en el extracto de saturación del suelo, según la tolerancia del cultivo.
- ◆ En aguas con menos de 20% de $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$, la conductividad eléctrica, expresada en milmbos/cm, se multiplica por cinco y se compara con la permisible en el extracto de saturación del suelo del cultivo en cuestión. Si resulta menor la CE del agua de riego que la CE permisible en el extracto de saturación, el agua es buena para ese cultivo.
- ◆ Cuando el agua tiene más de 20% de $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$ y es condicionada por SE y/o SP; el valor de la SE y/o SP se divide entre 2 para obtener la $\text{CE} \times 10^3$ en el extracto de saturación. Este valor se compara con el permisible según la tolerancia del cultivo y de ahí se deduce la conveniencia ó limitación para el empleo del agua en el riego de dicho cultivo.
- ◆ Tentativamente, la concentración permisible de cloruros en el agua de riego se considera aproximadamente igual a un quinto de la permisible en el extracto de saturación del suelo.
- ◆ La influencia del suelo para determinar la conveniencia o limitación del empleo de un agua clasificada como condicionada, se define de acuerdo con una apreciación de la permeabilidad y las condiciones de drenaje.
- ◆ La conductividad hidráulica es el factor que gobierna las prácticas de lavado de sales.
- ◆ Si el suelo es de textura fina, con baja conductividad hidráulica, K menor de 0.5 cm/hr y nivel freático somero, se puede usar para cultivos tolerantes con prácticas de lavado, aguas con SE y/o SP de hasta 5 me/l. Considerar no recomendables las que tienen más de ese valor.
- ◆ En suelos de textura media con conductividad hidráulica entre 0.5 y 2 cm/hr y nivel freático profundo, pueden usarse aguas con salinidad efectiva y/o potencial de hasta 10 me/l, siendo no recomendadas las que tengan más.
- ◆ Para suelos de textura gruesa o con alto contenido de materia orgánica, se pueden usar aguas con SE y/o SP hasta de 15 me/l.

Procedimiento a seguir

Cálculos:

- a. Calcular la suma de cationes y aniones
- b. Calcule el porcentaje de los $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$, respecto de la suma de aniones.
- c. Determine los índices a utilizar para:
 - ◆ Estimar el efecto de las sales solubles.
 - ◆ Estimar el efecto del sodio sobre el suelo.
 - ◆ Contenido de elementos tóxicos
- d. Calcule los índices
- e. Presente en forma de tabla los resultados obtenidos
- f. Efectue la interpretación
 - ◆ De acuerdo con las tablas de clasificación.
 - ◆ La información sobre la tolerancia del cultivo, características del suelo y condiciones de manejo donde va a ser usada.
- g. Efectue las recomendaciones.

COMPROBACIONES.

- Suma de cationes = Suma de aniones

$$-\frac{\text{Suma de cationes}}{12} \quad \text{ó} \quad \frac{\text{Suma de aniones}}{12} = \text{CEmmhos/cm}$$

- $\text{CE (Mmbos/cm)} / \text{suma de cationes (me/l)} = 100$

80 para aguas con bicarbonato ó sulfato donde el calcio es alto.
110 para aguas con cloruros, pero ricas en sodio.

- Sólidos disueltos (ppm)/CE (Mmhos/cm = 0.64

- PSI = 100 (-0.0126 + 0.01475 RAS) o usar nomograma

$$\frac{1 + (-0.016 + 0.01475 \text{ RAS})}{1 + (-0.016 + 0.01475 \text{ RAS})}$$

- Presión osmótica (Atm) = 0.36 * CE (mmbos/cm)

- Cuando únicamente se conoce el valor del calcio + magnesio, el sodio puede calcularse de la forma siguiente:

$$\text{Na}^+ = \frac{\text{CE (Mmbos/cm)} - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})}{100} \text{ [me/l]}$$

o por el contrario, si solo se conoce el valor del sodio, el calcio más magnesio puede calcularse:

$$\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} = \text{CE} \frac{(\text{Mmbos/cm} - \text{Na}^+)}{100} \text{ [me/l]}$$

PRACTICA N°11

NIVELACION DE TIERRAS

OBJETIVO

Aplicar el método del plano en el diseño de la nivelación de un terreno a fin de obtener la superficie más apropiada para la aplicación del agua de riego en forma eficiente.

MATERIALES Y EQUIPO

1. Mira
2. Nivel de precisión
3. Cinta métrica
4. Pines

PROCEDIMIENTO:

- Seleccione el lote a nivelar de una área de 40m. x 50m.
- Localice en el terreno el lindero más uniforme (lo más recto posible) y determine en uno de sus extremos un punto, coloque allí un pín.
- Con el pín colocado anteriormente y otro punto tomado como referencia se dá línea, colocando sobre ella cada 10 metros un pín hasta terminar con la longitud requerida 40 m. ó 50 m.
- Después de materializar la línea anterior y a partir del punto inicial, trace una perpendicular formando un ángulo de 90° de la siguiente manera: Con la cinta métrica y partiendo del punto inicial mida cuatro (4) metros en dirección de la línea obtenida anteriormente y coloque otro pín, luego en la perpendicular mida (3) metros, y coloque un pín,, chequeé que la línea que cierra el triángulo tenga un valor de cinco (5) metros.
- Con el pín colocado en el punto inicial y el ubicado a los tres (3) metros, de línea y materializela cada 10 metros a partir del punto inicial, colocando un pín hasta terminar con la longitud requerida 40 m. ó 50 m.

- Ubíquese con la cinta en el punto correspondiente a los 10 primeros metros de cada línea materializada y efectúe una medición con una de 20 metros buscando un punto a los 10 metros en donde cada nueva línea quede perpendicular con la otra, colocando allí un pín.
- Continúe el procedimiento anterior hasta completar la cuadrícula de 10m. x 10m. para toda el área de trabajo 40m. x 50m.
- Sitúe el nivel de precisión en un punto tal que pueda efectuar las lecturas de mira en cada punto de la cuadrícula trazada.
- Coloque la mira en un punto de cota conocido ($BM = 10$ metros) indicado por el instructor y efectúe la lectura correspondiente, ella será la (V^+).
- Efectúe las lecturas de mira correspondientes a cada punto de la cuadrícula, ellas serán la (V^-).

DATOS, CALCULOS Y RESULTADOS:

1. Con los datos de: Bm , (V^+) y (V^-) calcule:

Las cotas del terreno correspondientes a cada punto de la cuadrícula aplicando la fórmula:

Cota del terreno en un punto de la cuadrícula = $Bm + V^+ - V^-$ (la correspondiente al punto).

2. Localice el centroide.
3. Determine la altitud media del terreno.
4. Calcule las pendientes promedio de las líneas.
5. Determine el plano proyecto.
6. Efectúe el cálculo del movimiento de tierra.
7. Haga el ajuste para la relación corte - relleno de acuerdo con el valor indicado por el instructor.
8. Presente un mapa indicando los cortes y rellenos; finalmente, presente en forma de tabla los datos y resultados obtenidos.

DISCUSION

En forma breve discuta los resultados obtenidos.

CONSULTAS:

1. Porqué razón cuando se lleva a cabo el cálculo para la nivelación de tierras se prevee la ejecución de un exceso de cortes sobre los valores de relleno.?
2. Explique en detalle como se efectúa la indicación de cortes y rellenos en el campo para fácil observación de los operarios.
3. Porqué no debe planearse la nivelación de tierras antes de conocer las condiciones del perfil del suelo.
4. Explique en detalle el porqué la sección de la pendiente del campo a nivelar se ve limitada por la decisión inicial del tipo de sistema de riego a usar.
5. Indique cual es el equipo utilizado en el campo para realizar el trabajo de nivelación de tierras.

CONCLUSIONES

Presente las conclusiones que considere pertinente conforme a la práctica realizada.

BIBLIOGRAFIA:

Relacione la bibliografía consultada.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AVIDAN, Albert. Notas del curso de riego a presión. Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola - CINADCO. División de Capacitación Técnica. Israel, 1993.
- Water requirements of field crops and orchards in Israel. Editado por Shalhevet y otros. Israel, 1990.
- AYERS, R. S. y D.W. WESTCOT. Calidad del agua para la agricultura. FAO, Roma, 1976.
- BLANEY, H.F. and CRIDDLE, W.D. Determining consumptive use and irrigation water requirements. USDA (ARS) Tech. Bull. 1275, 1962, p59.
- Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA SCS - TP96.
- DOORENBOS, J. y W.O. PRUITT. Las necesidades de agua de los cultivos. FAO, Riego y drenaje No 24, p194. Roma, 1976.
- FAO 1980. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Riego y Drenaje No 33, p212.
- GRASSI, Carlos. Fundamentos del riego. Serie Riego y Drenaje RD - 38 CIDIAT, Mérida, Venezuela, 1988.
- HARGREAVES G.L. & SAMANI Z.A. Irrigation Scheduling/Programación del riego. A bilingual manual CID, 1991.
- ISRAELSEN W, Orson and HANSEN, E. Vaughn. Irrigation Principles and Practices. 4ed. Utah State University, Logan, Utah, 1965.
- JENSEN, M.E. Consumptive use of water and irrigation water requirements. Techn. Committee on Irrigation Water Requirements, ASCE, 1973, p215.

- KARMELI, D and KELLER, J. Trickle irrigation design. Rainbird Sprinkler Manufacturing Corp., Glendora, California, 1974, p182.
- KELLER, Jack. Effect of irrigation method on water conservation. Journal of Irrigation and Drainage Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 91 (2):61-72.
- KRAMER, P. J. Relaciones hídricas de suelos y plantas. México, Edutex,S.A., 1974, p538.
- LINACRE, E.T. Climate and the evaporation from crops. ASCE. Irrigation and drainage Div. 93:61-79. 1967.
- NORERO, Aldo 1976. Evaporación y transpiración. CIDIAT, Mérida, Venezuela, 1976, p60.
- PIZARRO, C. Fernando. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF), goteo, microaspersión, exudación. Madrid, España, Artes Gráficas Palermo, 1987, p461.
- VERMEIREN L. y G. A. JOBLMG. Estudios FAO. Riego y Drenaje No 36. FAO. Roma, 1986.

PUBLICACIONES PERIODICAS

Ingeniería Hidráulica de México (Colección)

Memorandum Técnico. Secretaría de Recursos Hidráulicos de México (Colección)

Soil Science proceeding (Colección)

Soil Science Transaction (Colección)

Soil and water conservation (Colección)

Transactions of agricultural engineering (Colección)