

CAPITULO X

EFICIENCIA DE RIEGO

Por: Edgar F. Almansa Manrique

INTRODUCCION

La utilización del recurso hídrico con eficiencia es una obligación de los regantes. Es necesario recalcar la importancia del agua como un factor limitante de la producción y por lo tanto un recurso limitado. Ninguna persona tiene el derecho de desperdiciar el agua que alguno de sus semejantes pueda necesitar, por lo tanto se hace necesario aprender a manejarla con diferentes tipos de obras hidráulicas y a evaluar el trabajo de estas obras para conocer su funcionamiento y corregir las deficiencias que se detecten tanto en la construcción como en la operación de las mismas.

En este capítulo se tratará el tema de la eficiencia en el manejo del agua con fines de riego. Con base en este tipo de valoración se puede conocer el sistema de riego más adecuado a una determinada circunstancia por una parte, y por otra, a conocer en que parte de un sistema se están presentando fallas que deben ser corregidas para optimizar la utilización del recurso hídrico.

EFICIENCIAS A NIVEL DE PROYECTO

El movimiento del agua desde su fuente de origen hasta llegar al cultivo a lo largo de un sistema de riego puede ser identificado como tres operaciones separadas: Conducción, distribución y aplicación en el campo.

Conducción.

Es el movimiento de agua desde su fuente a través del canal principal o tuberías hasta las tomas o compuertas a la entrada los predios.

Distribución.

Es el movimiento del agua a través de los canales o tuberías a través del predio hasta la compuerta o toma de campo.

Aplicación.

Es el movimiento del agua desde la cabecera o toma de campo en el lote a regar hasta el cultivo.

Definición de eficiencia

Concepto utilizado para estimar las pérdidas de agua de un sistema de riego. En general se emplea la relación entre el volumen de agua presente en algún lugar del sistema y el volumen de agua derivado en la fuente.

Eficiencia de Conducción.

El primer concepto que se utilizó para estimar las pérdidas de agua de un sistema de riego fue el de eficiencia del transporte y suministro.

La eficiencia en este caso puede ser expresada como:

$$E_c = 100 \times (W_f / V_r)$$

Donde: E_c = eficiencia de conducción
 W_f = volumen de agua a la entrada de la finca
 V_r = volumen de agua tomado de la fuente con destino a la finca.

Eficiencia de Distribución

Esta es la eficiencia de los canales y tuberías de distribución de agua que abastecen desde la red de conducción hasta los campos individuales. Las cantidades de agua que ingresan a la red de conducción así como las cantidades que se entregan a los campos pueden ser medidas y de esta manera obtener la eficiencia de distribución.

La eficiencia de distribución puede expresarse como:

$$E_d = 100 \times (V_f + V_3) / V_d$$

Donde: V_d = Volumen de agua entregado al sistema de distribución
 V_3 = Entregas de agua que no tienen como fin el riego en el sistema de distribución
 V_f = Volumen de agua proporcionado a los campos

Eficiencia de Aplicación

El concepto de eficiencia de aplicación del agua surgió de la necesidad de fijar la atención y de medir la eficiencia con que el agua aplicada era almacenada en el terreno en la zona de exploración radicular, de manera que pueda ser utilizada por las plantas.

La eficiencia de aplicación de campo E_a es por definición, la relación entre la cantidad de agua proporcionada en la toma de campo y la cantidad de agua necesaria para mantener la humedad del suelo por encima del nivel mínimo requerido por el cultivo.

Esta es una forma indirecta de establecer la eficiencia de aplicación de campo, en razón a que el agua usada para la evapotranspiración de un cultivo es igual a la cantidad de agua necesaria para mantener la humedad del suelo requerida para el cultivo.

La evaluación de la eficiencia de aplicación de campo requiere de medidas de las entregas de agua a cada campo y también medidas del contenido de humedad del suelo antes de cada aplicación del agua de riego.

A pesar de que tales mediciones son ciertamente necesarias en investigaciones, es posible un sistema efectivo de programación del riego en suelos que tienen una capacidad de retención alta o en áreas donde existan datos confiables de uso consuntivo y buenos registros meteorológicos disponibles. En este caso, solo es necesario hacer verificaciones periódicas de la humedad del suelo para asegurar que los riegos sean hechos antes de que la humedad del suelo alcance niveles de marchitez permanente y que la aplicación no sea mayor que la restante capacidad de retención de agua en el rango de profundidad de la zona de raíces.

La eficiencia de aplicación de campo puede ser expresada como:

$$E_a = 100 \times (V_h / V_f)$$

Donde: E_a = Eficiencia del agua aplicada
 V_h = Volumen de agua necesaria para mantener la humedad del suelo por encima de un nivel mínimo requerido por los cultivos (m^3)

V_f = Volumen de agua aportado a los campos (m^3)

Eficiencia Total o Eficiencia del proyecto

El cálculo por separado de las eficiencias de conducción, distribución y aplicación indicarán si es necesario y donde son requeridas las medidas de corrección para mejorar la eficiencia del uso del agua en el proyecto general.

Los datos usados para el cómputo por separado de las eficiencias y la aplicación de campo pueden ser también utilizados para computar la eficiencia total de riego de un proyecto.

Esta eficiencia total (o del proyecto) puede expresarse como:

$$E_p = E_c \times E_d \times E_a$$

Este valor representa la eficiencia general de operación desde la derivación en el río o fuente de agua hasta la zona de raíces de los cultivos en crecimiento en la zona regada.

3. EFICIENCIA Y UNIFORMIDAD A NIVEL DE CAMPO

Nomenclatura:

Nomenclatura usada para definir diferentes niveles del contenido de agua en el suelo.

Antes de definir la nomenclatura de eficiencia, se debe alcanzar un acuerdo común sobre la terminología que describa los estados de humedad del suelo en los campos regados. Los siguientes términos son usados para describir el estado de humedad del suelo o, las características de retención de humedad del suelo. Antes, se admite que las definiciones presentadas aquí son descripciones simplificadas de la actual condición física. Las referidas simplificaciones son necesarias para el uso práctico de los conceptos.

Los métodos de medidas o estimaciones deberán ser establecidas conjuntamente con los valores numéricos de cada término para obtener un uso adecuado.

El término "humedad del suelo" (contenido), se asume como sinónimo de "Agua del suelo". Las unidades de la humedad del suelo pueden ser expresadas ya sea como un porcentaje del peso de suelo seco, porcentaje del volumen del suelo, o equivalente espesor o altura (lámina) de agua por equivalente espesor o profundidad de suelo bajo dicha lámina de agua.

Generalmente la altura o espesor de lámina de agua por profundidad o espesor de suelo es la más conveniente medida para la evaluación y manejo del riego.

Capacidad de Campo (cc)

El glosario de términos en Ciencias del Suelo de la Sociedad Americana de Ciencias del suelo (SSSA) Madison, Wisconsin, Febrero 1975, sugiere que Capacidad de Campo es "El porcentaje de agua remanente en el suelo dos o tres días después que el suelo ha sido saturado y después que el drenaje libre prácticamente ha cesado. El tiempo requerido para la cesación del drenaje libre varía con la textura y estructura del suelo y la relativa velocidad del uso del agua por los cultivos

Marchitez Permanente (MP)

Es el contenido de humedad en el suelo después que la planta ha agotado la posibilidad de extraer humedad a una suficiente velocidad como para que sus hojas marchitas se recuperen en el transcurso de una noche o cuando estas sean colocadas en un ambiente saturado de humedad.

Capacidad Disponible de Humedad del Suelo (CDH)

Es la cantidad de humedad que puede ser retenida en la zona de raíces entre capacidad de campo y el de marchitez permanente.

Humedad Disponible en el Suelo (HD)

Es la diferencia en cualquier momento entre el contenido actual de humedad y el de marchitez permanente del suelo en la zona de raíces.

Déficit de Humedad del Suelo (DfH)

Es la diferencia en cualquier momento entre la capacidad de campo y el valor actual de humedad en el suelo en la zona de raíces. Esta es la cantidad de agua requerida para llevar la zona de raíces del suelo a capacidad de campo.

Déficit Permitido de Manejo (DfPM)

Es el déficit deseado de contenido de humedad en el suelo al momento de riego. DfPM es expresado como un porcentaje de CDH o como el correspondiente a DfH. Este término está relacionado con el nivel deseado de agotamiento de humedad del suelo por el sistema planta-suelo-agua-clima. El riego usualmente se programa cuando el valor de DfH iguala DfPM. En el riego de zonas áridas generalmente se debe reemplazar el valor de DfH, sin embargo, en zonas húmedas la altura de lámina para el riego suplementario es generalmente aplicada para reemplazar parcialmente DfH, en otras palabras, dejando una cierta capacidad de almacenamiento en la zona de raíces para la probable lluvia.

DEFINICIÓN DE EFICIENCIAS

Las siguientes terminologías sobre eficiencia son valiosas en la evaluación de la efectividad potencial o actual o ambas de la aplicación de agua de riego por un sistema determinado. Las definiciones son generalmente expresadas en profundidades o alturas (lámina) equivalente de agua libre (volúmenes por unidad de área) excepto para los sistemas de cobertura parcial tales como aspersión, goteo y subterráneo en donde volúmenes de agua pueden ser medidas más apropiadas. Para sistemas de aspersión y de goteo que operan sin escorrentía, la profundidad de agua infiltrada es asumida igual a la altura de lámina de agua aplicada a la superficie del suelo.

Una descripción gráfica del sistema suelo-agua-planta se muestra en la Figura No. 1, el agua infiltrada, la evaporación de la planta, de las superficies libres de agua, el salpique por efecto del viento y el escurrimiento deben ser igual a la altura de lámina (o volumen) de agua aplicada para satisfacer el principio de conservación de masas. Por lo tanto, la suma del agua almacenada y el agua en movimiento, la percolación profunda, transpiración y evaporación de la superficie del suelo deben ser igual a la altura de lámina (volumen) infiltrada.

Alguna parte del agua en movimiento en la zona de raíces puede ser transpirada por el cultivo antes de que se pierda por percolación profunda. Por lo general es necesario un cierto porcentaje de percolación profunda para mantener un balance satisfactorio de sales, ya que además de la evaporación y la transpiración es la única otra manera de remover agua de la zona de raíces. La transpiración y la evaporación están interrelacionadas y dependen de las condiciones atmosféricas, planta y humedad del suelo.

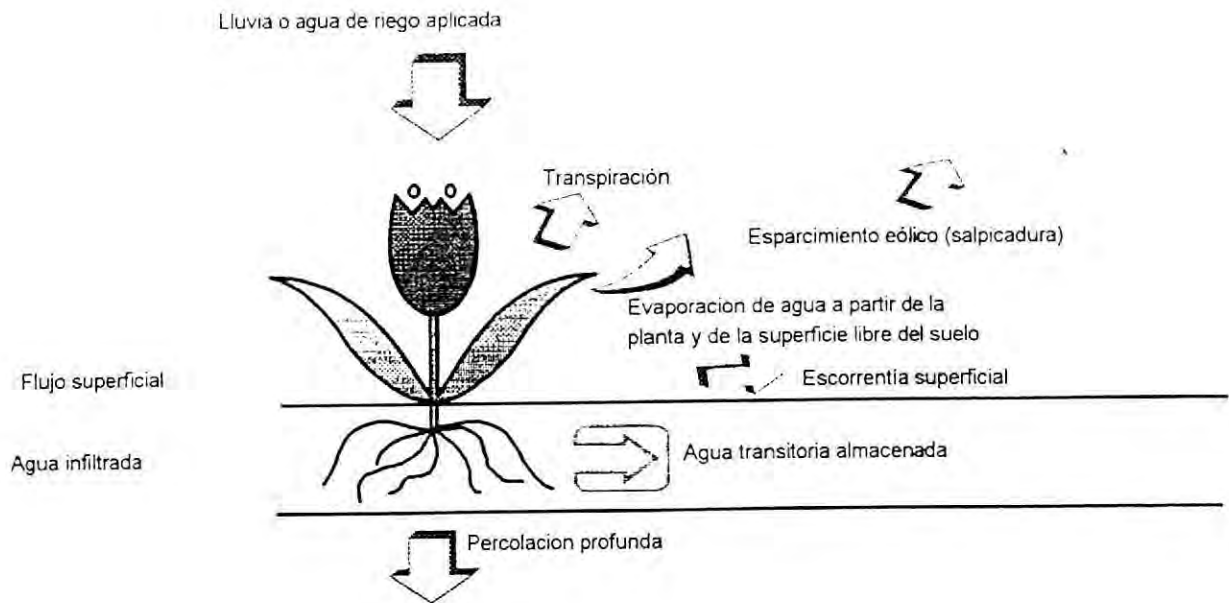


Figura No. 1. Esquema del balance de masa en el sistema Agua - Suelo - Planta

Eficiencia de riego (ER)

Es la relación entre la profundidad (o altura) de lámina promedio de agua de riego usada en forma beneficiosa y la profundidad (o altura) de lámina promedio de agua aplicada para el riego.

$$ER = \frac{\text{lámina promedio de agua usada en forma provechosa}}{\text{lámina promedio de agua aplicada}}$$

La ER es un término general, muy útil para describir la efectividad del riego en un simple campo, particularmente cuando el agua es usada para finalidades provechosas más que para satisfacer de DfH, como es el caso cuando se le usa para lavar las sales, protección de heladas, enfriamiento de cultivos y aplicación de pesticidas y fertilizantes; o cuando es utilizada en varios campos en donde se toma en cuenta el beneficio de la reutilización de la escorrentía y otros flujos de retorno.

Eficiencia de aplicación (Ea)

Es la relación entre la profundidad (o altura) de lámina promedio de agua almacenada en la zona de raíces (agua necesaria para mantener la humedad del suelo requerida por el cultivo) y la profundidad (o altura) de lámina promedio de agua de riego aplicada (agua proporcionada al campo).

$$Ea = \frac{\text{lámina promedio de agua aplicada en la zona de raíces}}{\text{lámina promedio de agua aplicada}}$$

La Ea no proporciona indicación sobre lo adecuado del riego o sobre la uniformidad del mismo aún cuando exagerada subirrigación puede igualar el 100%. La Ea simplemente muestra la fracción de agua aplicada que se ha almacenado en la zona de raíces que es potencialmente accesible para evapotranspiración.

UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCION

Distribución del agua de riego

Las siguientes terminologías de distribución en campo para el riego en la parcela son útiles para evaluar la habilidad de un sistema de riego en aplicar el agua uniformemente. Como se ha venido haciendo anteriormente, las definiciones son expresadas en equivalente espesor de agua libre (altura de lámina de agua).

Uniformidad de distribución (UD)

Es la relación entre la lámina de riego promedio infiltrada del cuarto inferior y la lámina de riego promedio infiltrada es el valor promedio medido o estimado del cuarto más bajo escogido entre los valores, los cuales representan un área igual de campo.

$$UD = \frac{\text{lámina promedio de agua infiltrada del cuarto inferior}}{\text{lámina promedio de agua infiltrada}}$$

La uniformidad de distribución (UD) es un útil indicador de los problemas de distribución. Un bajo valor de UD indica que ocurrirán excesivas pérdidas por percolación profunda si se abastece del riego adecuado a toda el área.

La figura No. 2, muestra un perfil de distribución de agua generada por un riego superficial asumido. En el se aprecia la relación entre la lámina de agua infiltrada y la porción real del campo que recibe esa lámina. La línea curva continua indica la distribución de agua para un promedio de 4.0 unidades (lámina) de agua infiltrada. la profundidad promedio (lámina promedio) en el cuarto inferior es 3.6 unidades. la uniformidad de distribución en este ejemplo es 0.90.

Si un DfH en el campo justo en el momento previo al riego es igual a 3.6 unidades, entonces el área del campo localizada a la derecha del punto A en el perfil será subirrigada mientras que el área sombreada a la izquierda del punto A representa las pérdidas por percolación profunda. El riego adecuado de toda el área del campo requerirá de una lámina promedio de aplicación de 4.25 unidades.

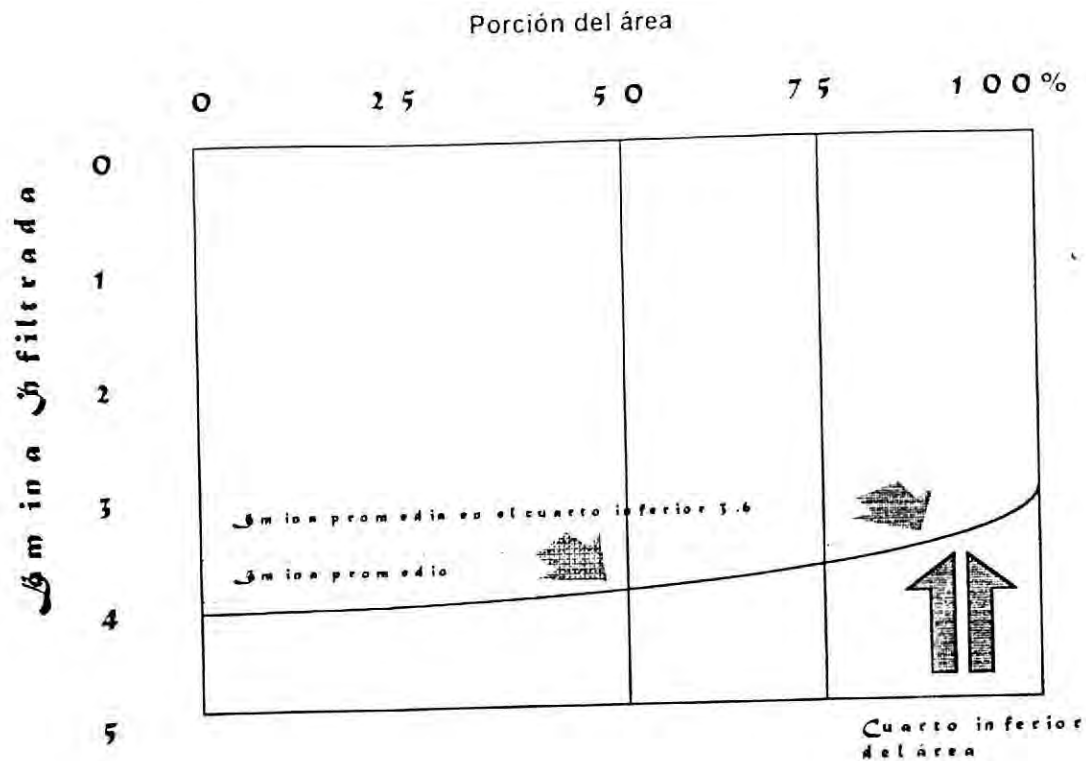


Figura No. 2 Distribución del agua infiltrada a lo largo del surco para una lámina promedio de 4.0 y 4.25 unidades de agua infiltrada.

La curva que representa la altura de lámina aplicada es obtenida por graficación sistemática (ploteo) de los datos adquiridos de los recipientes en la prueba de intercepción, ranqueados en orden decreciente.

Por ejemplo, si fueran 50 recipientes, cada uno representará el 2% del área y el valor medio de estos representará la altura de lámina interceptada (altura de captura) en la cual el 50% del área recibirá menos agua (o más agua). Para el perfil de distribución mostrado, si la altura de lámina promedio aplicada es de 4 unidades (línea continua). La UD será otra vez 0.90. El área del campo que recibe más agua que la lámina promedio del cuarto inferior es 90%. Para incrementar del 90% al 100% aproximadamente el área del campo que recibe un adecuado riego, la lámina infiltrada necesitará ser incrementada de 4.0 a 4.45 unidades, tal como se muestra con la línea discontinua en la figura No. 3.

En el riego por aspersión y goteo donde las velocidades de aplicación son menores que la velocidad de infiltración del suelo las fallas de uniformidad son causadas por irregular aplicación del agua. Por lo tanto, para incrementar la altura de lámina interceptada en un porcentaje dado en el área menos humedecida se requiere incrementar la altura total de lámina en un porcentaje equivalente. Sin embargo, en el riego superficial las fallas de uniformidad en la infiltración resultan generalmente de la combinación de diferencias en el *tiempo de oportunidad para la infiltración* y variación en la *Infiltración característica* a través del campo. Además, la velocidad de infiltración decrece con el tiempo. Por lo tanto, la lámina de aplicación en la zona menos humedecida puede ser aumentada sin un incremento porcentual similar en todas al resto del área. Esto se puede obtener en las figuras No. 2 y 3.

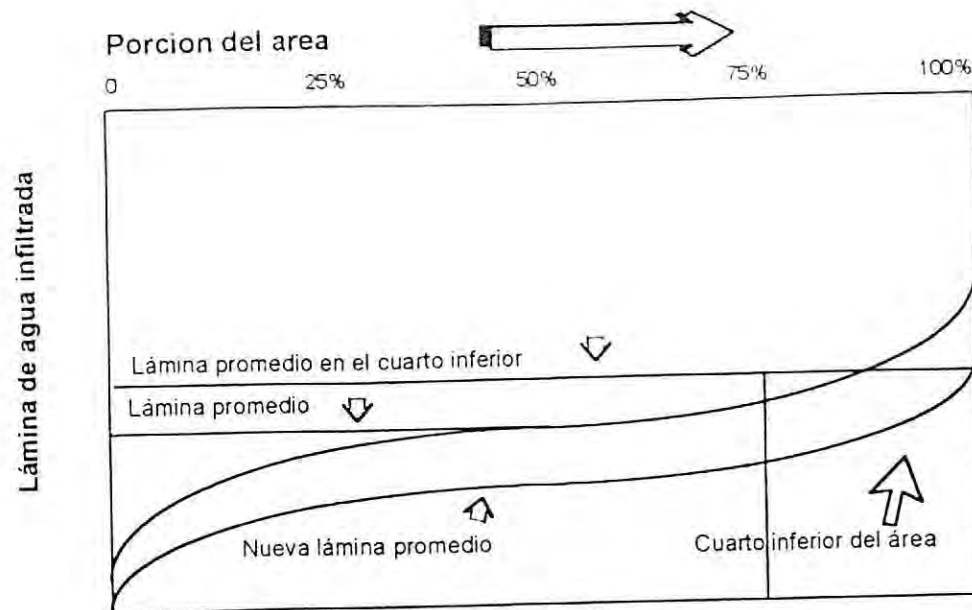


Figura No. 3 Distribución del agua infiltrada en un campo de prueba regado por aspersores o góteros para una lámina promedio de 4.00 y 4.45 unidades de agua infiltrada.

La economía en el diseño de un sistema de riego generalmente indica que menos del 100% del área sea adecuadamente regada. En el caso de que la lámina promedio del cuarto inferior sea igual a la lámina de aplicación deseada, aproximadamente 10% del área de un campo regado quedará subirrigado (ver figura No. 2 y 3). En donde la lámina promedio de la mitad inferior sea igual a la lámina de aplicación deseada aproximadamente el 20% del área total quedará subirrigada. Incremento significativo en la percolación profunda ocurre como consecuencia del incremento en el área que recibe adecuado riego.

Coeficiente de uniformidad (CU)

Es la relación entre la diferencia de la lámina promedio de riego infiltrada (o interceptada) menos la desviación promedio de esta lámina promedio, dividida entre lámina promedio infiltrada o (interceptada). El coeficiente de uniformidad puede ser expresada porcentualmente como:

$$CU = 100 (1.0 - (\Sigma X / NX) \bar{X})$$

En donde:

- X Es la desviación absoluta de observaciones individuales a partir de la media.
- \bar{X} Lámina promedio de N simple observaciones, Xi, en donde Xi representa un área igual de campo regado
- N Número de observaciones
- CU Puede expresarse más detalladamente de la siguiente manera:

$$CU = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})}{(N \bar{X})} \right)$$

Donde:

$$X = | X_i - \bar{X} |$$

$$\sum X = \sum_{i=1}^n | X_i - \bar{X} |$$

El coeficiente de uniformidad ha sido más intensamente usado en la evaluación de los sistemas de riego por aspersión. Una graficación sistemática (ploteo) decreciente de las alturas de láminas interceptadas bajo un sistema de riego por aspersión produce generalmente un perfil en forma de S simétrica tal como se observa en la figura No. 3. Por lo tanto, el CU para riego por aspersión puede ser aproximado por la relación de la lámina promedio interceptada en el medio inferior, dividida entre la lámina promedio interceptada sobre el resto del área.

Para sistemas de riego por goteo o subterráneo donde el agua aplicada pasa directamente de los surtidores (goteros) al suelo, la uniformidad de aplicación depende totalmente de la uniformidad de la descarga de los surtidores a través de todo el sistema. Descargas no uniformes son producidas por diferencia de presiones debido a pérdidas de fricción, elevación y a variaciones entre los goteros debido a tolerancia en su fabricación y/o a oclusión. Las presiones "base" de operación en un sistema de riego por aspersión son relativamente altas, por lo tanto, la diferencia de presiones en este caso no son tan críticas como para causar una desuniformidad en la emisión del agua como es en el caso de sistemas por goteo o subterráneo.

BIBLIOGRAFIA

- ISRAELSEN, O. y HANSEN, V. 1973.** Principios y aplicaciones del riego. Editorial Reverté. Barcelona España.
- ASTORGA J. 1978.** Funcionamiento de sistemas de Riego. CIDIAT. Serie Riego y Drenaje. Material de enseñanza No. RD - 1. Merida, Venezuela.
- ALMANSA, E. y JARAMILLO, J. 1980.** Evaluación técnica de un sistema de riego por aspersión tipo cañon. Tesis. ICA - UN.
- YAP-SALINAS, L. 1979.** Eficiencia y Uniformidad en el Riego. Contrato AID Lac-1270. Boletín Técnico No.1. Department of Agricultural and Irrigation Engineering. Utah State University.
- MERRIAM, J., KELLER, J. y ALFARO, J. 1973.** Irrigation system evaluation and improvement. Department of Agricultural and Irrigation Engineering. Utah State University.



Centro de Documentación