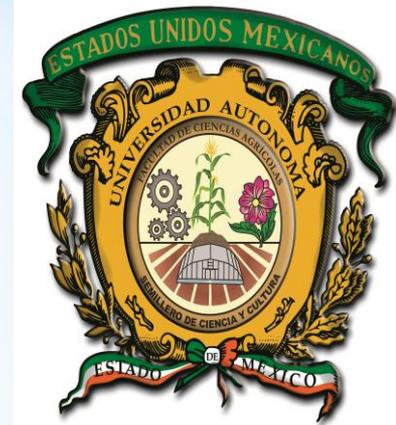




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



INGENIERO AGRONOMO EN FLORICULTURA
UNIDAD DE APRENDIZAJE "SISTEMAS DE IRRIGACION"
DIAPORAMA; RELACION AGUA-SUELO-PLANTA-ATMOSFERA
PRESENTA:

M. EN C. ANGEL SOLIS VALENCIA

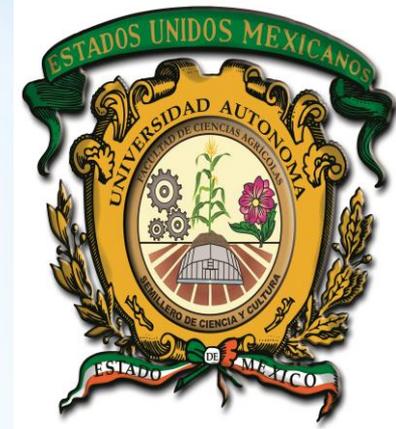
OCTUBRE DE 2017





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



CONTENIDOS DE LA UNIDAD DE APRENDIZAJE.

UNIDAD 1. RELACIÓN AGUA-PLANTA-SUELO-ATMOSFERA

UNIDAD 2. MÉTODOS DE RIEGO.

UNIDAD 3. LA FERTIRRIGACIÓN Y/O QUIMIGACION

UNIDAD 4. AUTOMATIZACIÓN DEL RIEGO Y USO SUSTENTABLE .





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



EL PRESENTE DIAPORAMA APOYA A:

RELACIÓN AGUA-PLANTA-SUELO-ATMOSFERA

DEL PROGRAMA:

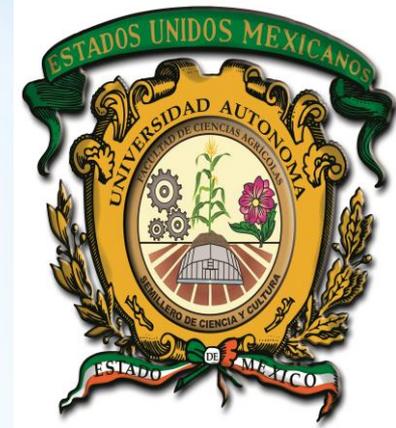
SISTEMAS DE IRRIGACION PROYECTO CURRICULAR INGENIERO
AGRONOMO EN FLORIUCULTURA 2015





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



UNIDAD 1. RELACIÓN AGUA-PLANTA-SUELO-ATMOSFERA

OBJETIVO: EL ALUMNO APRENDERÁ LAS RELACIONES DE LAS PLANTAS CON SU ENTORNO Y SU IMPORTANCIA CON CADA UNA DE ELLAS, CALIDAD DEL AGUA Y PROPIEDADES Y CÁLCULOS DE USO CONSUNTIVO POR MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS

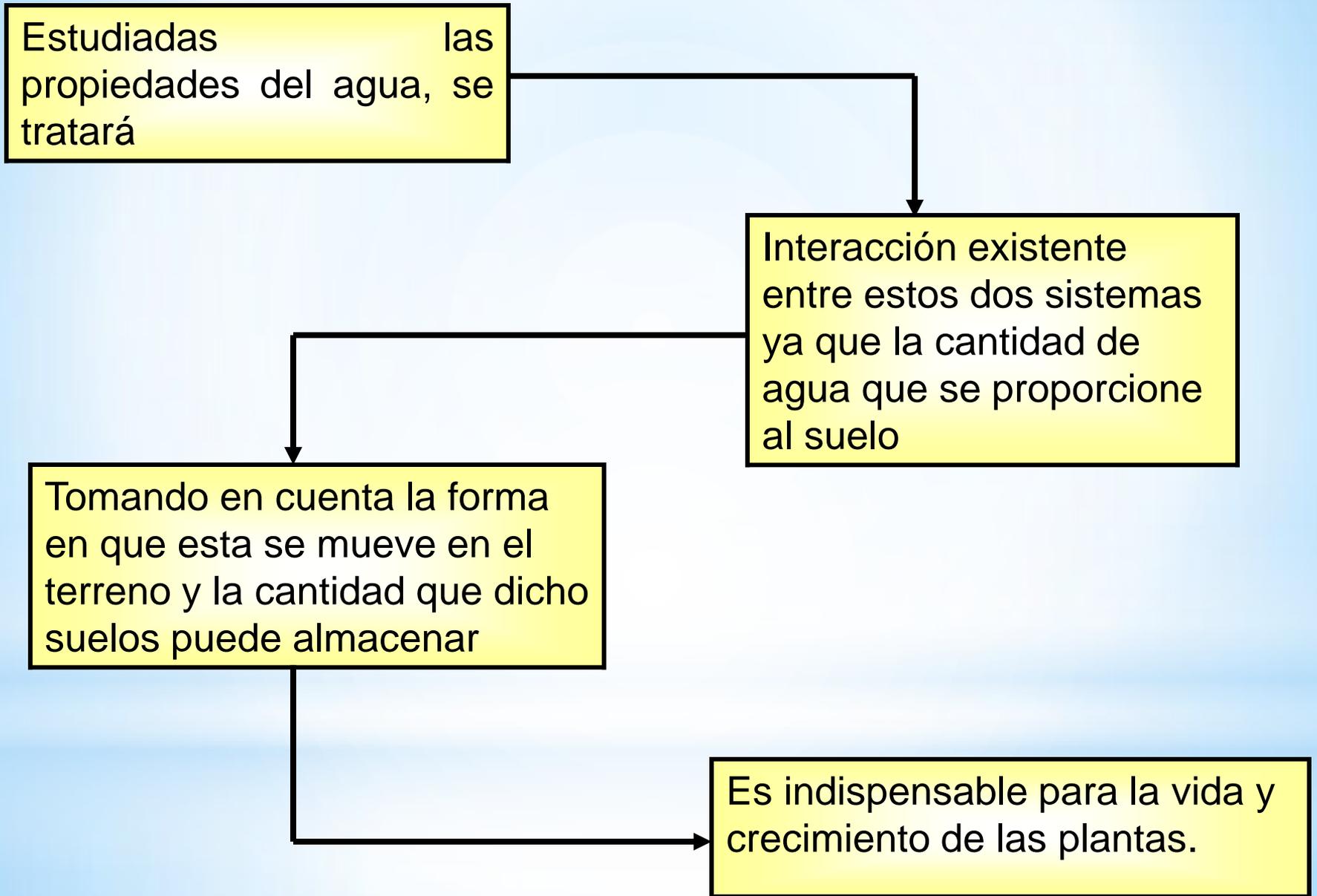


Estudiadas las propiedades del agua, se tratará

Interacción existente entre estos dos sistemas ya que la cantidad de agua que se proporcione al suelo

Tomando en cuenta la forma en que esta se mueve en el terreno y la cantidad que dicho suelos puede almacenar

Es indispensable para la vida y crecimiento de las plantas.



Clases de agua en el suelo

Cuando los poros, grandes y chicos, quedan llenos, el terreno esta saturado y a su máxima capacidad de retención.

La película de agua alrededor de las partículas aumenta de espesor hasta que, las fuerzas de cohesión, que sostienen las películas de agua son menores que la fuerza de gravedad, provocando así su filtración.

Los espacios entre las partículas forman una variedad infinita de formas y dimensiones.

Al suministrar agua en un suelo seco, dicha sustancia se distribuye alrededor de las partículas.

Se retiene por fuerzas de adhesión y cohesión.

Desplaza al aire y, llena los poros.

Esta agua que se filtra por acción de las fuerzas de gravedad se conoce como

Agua de gravedad o agua libre

Clases de agua en el suelo

Al suspender el suministro en la superficie, esta continúa colocándose por entre los poros durante varios días hasta que el agua libre logra filtrarse

Los poros se vuelven a llenar de aire y el agua contenida en los poros pequeños sigue moviéndose por capilaridad, se conoce como:

Agua capilar

La capilaridad actúa libremente hasta 1.2 o 1.5 m de altura, relativamente bien hasta 3 m, y más lentamente hasta 9 m ó más.

Penetra más lentamente que el agua de gravedad y se mueve en cualquier dirección, en respuesta a diferencias de tensión

Clases de agua en el suelo

Agua Higroscópica

Este tipo de agua se conoce como

La parte restante del agua queda retenida entre las partículas superficiales, especialmente en los coloides del suelo, en forma tal que pierde su estado líquido y se desplaza como vapor.

La evaporación en la superficie y la absorción de humedad de las plantas en crecimiento, reducen la cantidad de agua en el suelo hasta el punto que no se observa movimiento de capilaridad

El agua queda aprisionada herméticamente en forma de capas muy delgadas alrededor de las partículas del suelo; no puede ser aprovechada por la planta y ésta comienza a marchitarse.

El suelo queda tan seco que causa la muerte de la planta si se demora el suministro de agua al terreno

Clasificación
basada en la
disponibilidad de
agua con relación a
los vegetales

Expresiones de la humedad del suelo

Agua de
gravitación

Agua que drena por acción de la gravedad de la zona radicular de los cultivos; este drenaje es más rápido en suelos arenosos que en los arcillosos

Agua no
disponible

Agua que se encuentra retenida por la fuerza capilar y que a las plantas se les dificulta mucho su aprovechamiento

Agua
disponible
humedad
aprovechable

Agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre el agua de gravitación y la no disponible

Contenido de humedad del suelo

Entre un suelo saturado y un suelo seco, existe una variación muy considerable en su contenido de humedad;

Este contenido se expresa generalmente en porcentaje respecto al peso del suelo seco,

es decir, la relación de peso de agua contenida a peso del suelo seco, multiplicada por cien.

$$P_s = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \cdot 100 = \frac{P_a}{P_{ss}} \cdot 100 \quad (1)$$

Contenido de humedad del suelo

El contenido de agua en el suelo también puede expresarse en porcentaje de volumen de agua respecto al volumen total de suelo. Por tanto

$$P_v = \frac{V_a}{V_t} \cdot 100 \quad (2)$$

Debido a que la unidad de volumen de agua pesa la unidad de peso, es válida la siguiente igualdad:

$$V_a = P_a$$

Por tanto si de (1) se despeja P_a y se sustituye en (2) se tiene:

$$P_a = \frac{P_{ss} \cdot P_s}{100} = V_a \quad (3)$$

$$P_v = \frac{P_s \cdot P_{ss} \cdot 100}{V_t \cdot 100} \quad (4)$$

Contenido de humedad del suelo

$$L = P_s \cdot D_a \cdot P_r \quad (6)$$

La profundidad que interesa es donde llegan las raíces de las plantas; si se humedece más allá se estará desperdiciando el agua, por lo que:

Como puede observarse, el contenido de agua de un suelo expresado en por ciento de volumen respecto al volumen total del suelo, es igual al producto del porcentaje de humedad respecto al peso del suelo seco por su densidad aparente.

Haciendo simplificaciones y tomando en cuenta que la densidad aparente es igual a la relación entre el peso del suelo seco y el volumen total de dicho suelo,

$$D_a = \frac{P_{ss}}{V_t}$$

sustituyendo en (2.48) y simplificando queda:

$$P_v = P_s D_a \quad (5)$$

Contenido de humedad del suelo

El contenido de agua de un suelo expresado en por ciento de volumen respecto al volumen total del suelo

Es igual al producto del porcentaje de humedad respecto al peso del suelo seco por su densidad aparente.

Para conocer la lámina a una profundidad diferente de la unidad, bastará con multiplicar el producto obtenido por la profundidad, P_r deseada expresada en metros.

Un volumen unitario de suelo que sea el producto de un metro cuadrado de superficie por un metro de profundidad, el porcentaje de agua es una lámina en centímetros igual a dicho porcentaje

La profundidad que interesa es fundamentalmente hasta donde llegan las raíces de las plantas; si se humedece más allá se estará desperdiciando el agua, por lo que:

$$L = P_s \cdot D_a \cdot P_r \quad (6)$$

Parámetros de humedad del suelo.

Los métodos directos para la determinación de la humedad en el suelo, aunque laboriosos y costosos son de gran valor

La practica consiste en barrenar hasta las profundidades deseadas, extraer las muestras obtenidas de suelo húmedo y colocarlas en botes herméticos y llevarlos al laboratorio para pesarlos, antes y después de secarlos.

La humedad que la planta puede aprovechar depende de los valores de Ps en condiciones de capacidad de campo y porcentaje de marchitamiento permanente, a estos valores del contenido de humedad se les conoce como

El cálculo del contenido de humedad del suelo se realiza con las ecuaciones (1) y (2).

Parámetros de humedad del suelo.

Capacidad de Campo CC

```
graph LR; A[Capacidad de Campo CC] --- B[Contenido de agua de la porción húmeda del suelo, después que el exceso ha sido drenado y la velocidad del descenso disminuida en grado considerable]; A --- C[Es el contenido de agua retenida en el suelo a una tensión de 1/3 de atmósfera aproximadamente]; A --- D[La capacidad de Campo se obtiene entre los 2 y 5 días después del riego y es una constante característica para cada suelo;]; A --- E[Depende fundamentalmente de la textura, contenido de materia orgánica y grado de compactación de éste];
```

Contenido de agua de la porción húmeda del suelo, después que el exceso ha sido drenado y la velocidad del descenso disminuida en grado considerable

Es el contenido de agua retenida en el suelo a una tensión de $1/3$ de atmósfera aproximadamente

La capacidad de Campo se obtiene entre los 2 y 5 días después del riego y es una constante característica para cada suelo;

Depende fundamentalmente de la textura, contenido de materia orgánica y grado de compactación de éste

Método de campo o gravimétrico.

Determinación de la capacidad de campo (C C)

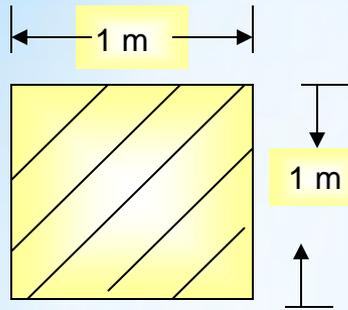
Preparar un cuadro de terreno de 1.00 x 1.00 m por lado, bordeado previamente, se humedece el perfil mediante la aplicación de una lámina de agua de 20 a 30 cm.

una vez colocada el agua se deja que se filtre y se cubre el lugar humedecido con un plástico, evitar la evaporación.

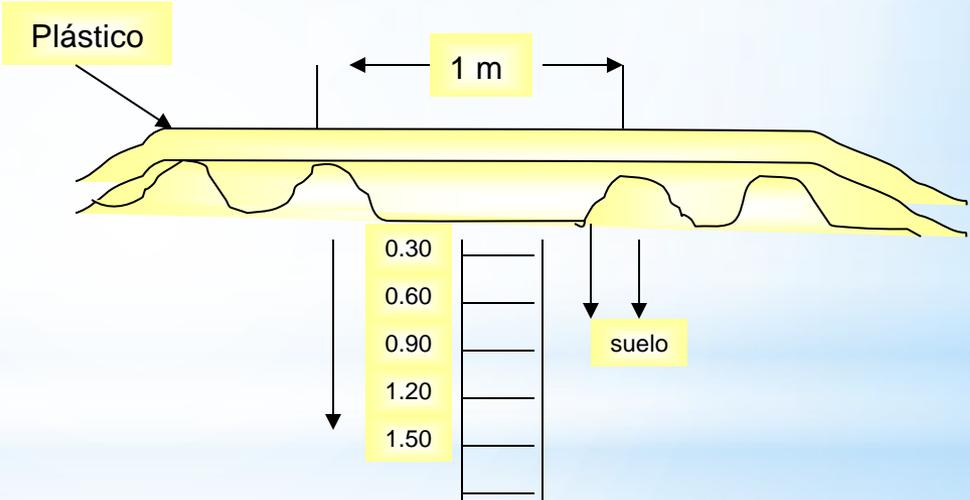
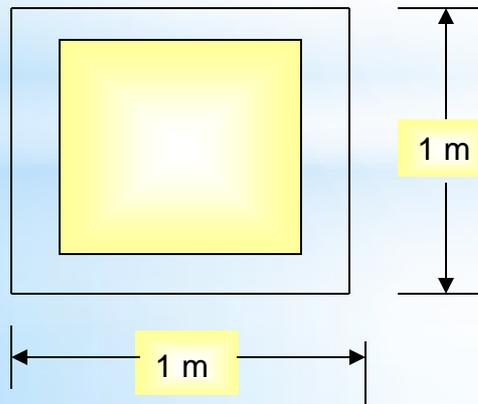
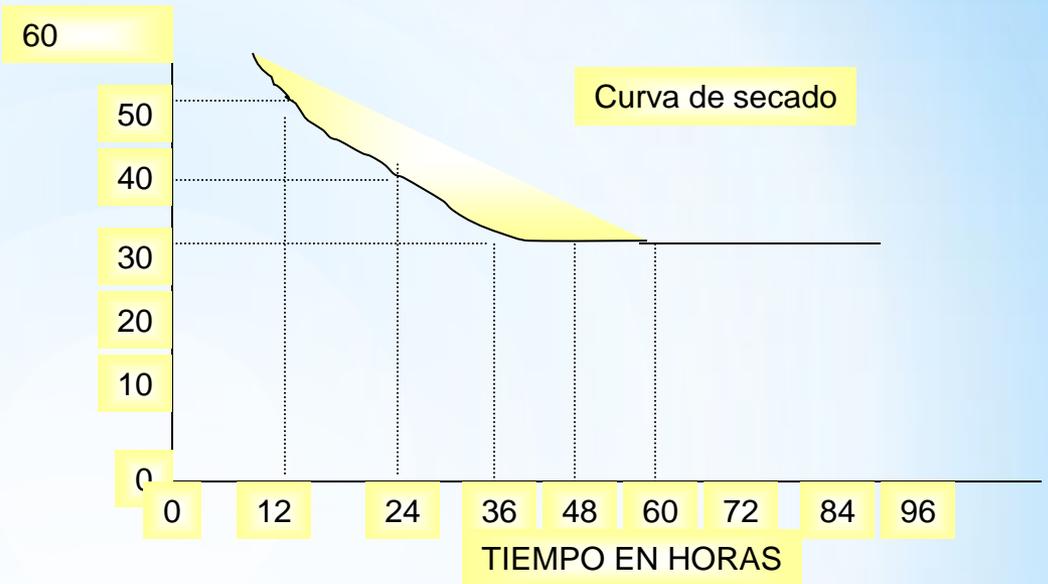
El agua se mueve horizontalmente, produce errores en la determinación. Para evitar esto, mojar la periferia del metro cuadrado

El agua termina de infiltrarse, recolectar muestras del suelo, determinar humedad a intervalos de 4 a 6 horas en suelos ligeros, y 24 horas en suelos pesados.

Las muestras son obtenidas del espesor del suelo comprendido en una profundidad de 1.50 m dividido en espesores de 0.30 m c/u



Área unitaria de terreno (Planta)



Vista transversal del terreno preparado

Esquema mostrando área unitaria del terreno mojado en su periferia

Método de la olla de Presión.

Método más desarrollado, permite hacer la determinación de un gran número de muestras en corto tiempo SE aplica aire a presión de 1/3 de atmósfera a muestras de suelo previamente saturadas.

Método de la humedad equivalente

El por ciento de humedad retenida por un suelo, en una muestra de un cm de espesor contra una fuerza centrífuga de 1 000 veces la de la gravedad, es el equivalente de humedad.

Se utiliza un aparato llamado centrífuga de humedad, el cual desarrolla una fuerza centrífuga que produce una tensión en el agua de la muestra de poco menos de una atmósfera.

Método de la textura

Conociendo la textura del suelo puede determinarse la capacidad con la fórmula empírica.

$$CC = (\% \text{ de arcilla del suelo}) a + (\% \text{ de limo}) b + (\% \text{ de arena}) c \quad (7)$$

a, b,c = los valores a, b,c, se determinan en c/región.

Método de las columnas de suelo

Las muestras de suelo se colocan en tubos de plástico transparente, de 30 cm de largo por 3.7 cm de diámetro interior, se coloca un papel filtro o una malla de alambre con un tapón perforado en el extremo inferior del tubo.

Para lograr una compactación o acomodo similar a la del campo, al llenar el tubo se tiene cuidado de picar el suelo con un punzón, se agrega agua destilada a la columna, cuya cantidad varía de acuerdo con la textura del suelo, 30 a 25 ml de agua destilada para suelo arenosos y de 50 a 60 ml para suelo arcilloso. Estos valores se obtienen con la ecuación:

$$L = P_{scc} - p_{sact} \times D_a \times P_r \dots\dots\dots(8)$$

Porcentaje de marchitamiento permanente. PMP.

contenido de humedad del suelo en el cual las plantas no pueden reponer el agua suficiente para recobrar su turgencia, y la planta se marchita permanentemente.

el contenido de humedad retenido a una tensión equivalente a la presión osmótica en las raíces de las plantas y que dicha tensión es aproximadamente de 15 atmósferas.

El punto de marchitamiento permanente depende del consumo de agua del vegetal, profundidad de la zona radicular, del agua utilizada por el vegetal y de la capacidad de retención del terreno.

Determinación del punto de marchitamiento permanente

Método del girasol

Se llenan una serie de botes de lámina-con 500 gr de tierra aproximadamente dejando 2 cm de libre bordo en la superficie de dichos botes. Se hace una determinación inicial de humedad para calcular la cantidad de suelo seco agregado a cada bote

Se deja que esta se marchite y cuando no se recupere al llevarla a una cámara oscura con una atmósfera saturada se calcula el contenido de humedad

Cuando presente 4 pares de hojas, se deja de regar y se cubre el tallo para que no haya pérdidas por evaporación

Se siembran 4 a 5 semillas de girasol enano (*Helianthus annuus*) a una profundidad de 1.5 a 2 cm.

se riegan para aumentar el contenido de humedad hasta llegar a capacidad de campo

germinada la semilla se selecciona la mejor planta eliminando las demás.

El PMP se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{PMP} = \frac{P_{s_1} - (P_p + 0.4 P_p + P_s)}{P_s - (0.1 P_p)} \quad (9)$$

Método de la membrana de presión.

Se usa para obtener una estimación de la humedad retenida en muestras de suelo a una tensión de 15 atmósferas. Este es uno de los métodos más usados para determinar el PMP y se le conoce también como el método de Richards

La diferencia de contenido de humedad entre la capacidad de campo y el porcentaje de marchitamiento permanente

Humedad aprovechable por las plantas

Se considera que a capacidad de campo la humedad aprovechable es de 100%, y a punto de marchitamiento será 0%.

La lámina máxima que se puede aplicar para humedecer un suelo a una profundidad Pr , sin desperdiciar agua será:

Se hace la consideración de que la humedad se ha dejado descender hasta PMP antes de aplicar el agua.

$$L = (Ps_{CC} - Ps_{pmp}) \times Da \times Pr \quad (10)$$

Métodos para estimar el contenido de humedad del suelo

La tensión de la humedad del suelo es una medida de la tenacidad con que el agua es retenida por el suelo y representa la fuerza por unidad de área que debe aplicarse para extraerla.

Por lo general, se expresa en atm, o sea la presión del aire al nivel del mar a una temperatura de 21°C

1 atmósfera = 1 Kg/cm² = 14.7 lb/pulg²
1 atmósfera = 76.39 cm de altura de una columna de mercurio
1 atmósfera = a una columna de agua de 10.36 m

Esta expresión no indica la cantidad de agua que el suelo contiene ni la cantidad que puede extraerse con dicha tensión; ya que esto depende de la textura, estructura y contenido de materia orgánica.

los arcillosos retienen una gran cantidad de humedad incluso a tensiones altas al grado de que las plantas en crecimiento llegan a marchitarse

suelos arenosos se drenan por completo a una tensión baja

Para medir la humedad del suelo se utilizan varios métodos entre los que están:

Métodos directos, como:

1. Método al tacto
2. Método Gravimétrico

Métodos Indirectos, como:

1. Tensiómetros
2. Bloques de yeso
3. Aspersor de neutrones
4. Medidor rápido de humedad Speedy

El Esfuerzo de Humedad del Suelo (EHS)

Conforme se va humedeciendo un suelo seco, el agua va ocupando sus poros hasta que llega a la saturación

Se dice que está a capacidad de campo, y entre sus partículas que da retenida el agua debida a la acción de dos fuerzas

Es cuando empieza a escurrir el agua debido a la acción de la gravedad principalmente, pero una vez escurrido el exceso de agua el suelo queda a su máxima capacidad de retención

La tensión superficial, fenómeno físico ya descrito

Estas fuerzas de tensión se oponen a las fuerzas de absorción de las raíces de las plantas, pero estas a su vez para absorber el agua del suelo tienen que vencer otra fuerza

Fuerzas de absorción.
Fenómeno físico de superficie y cuya fuerza es la naturaleza eléctrica, ocurre principalmente a nivel coloidal por presentar una gran superficie en un volumen relativamente pequeño

A la suma de estas dos fuerzas se le llama tensión de humedad del suelo, THS

El Esfuerzo de Humedad del Suelo (EHS)

3o .-La presión osmótica.

Es la presión necesaria para contrarrestar el paso de agua pura al interior de una solución acuosa a través de una membrana semipermeable, evitando así un incremento en el volumen de la solución.

La raíz para absorber el agua tiene que vencer además de la fuerza de tensión, las osmóticas

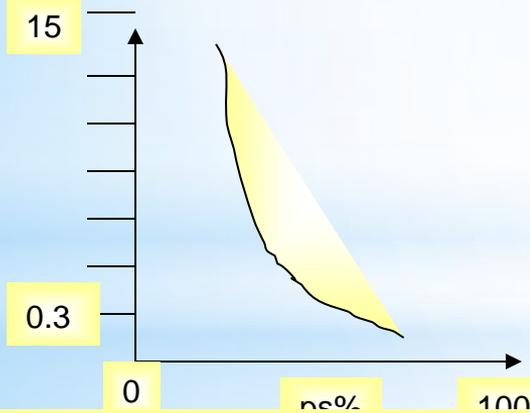
La suma de las fuerzas de tensión, más la presión osmótica se le llama **Esfuerzo de Humedad del Suelo, EHS**, el cual define el potencial de humedad.

El esfuerzo de humedad del suelo se expresa en unidades de presión

$$EHS = PO + T \quad (11)$$

Curva de tensión de humedad del suelo.

Un sistema de ejes coordenados se llevan como ordenadas los valores de la tensión en atmósferas y como abscisas los valores del P_s , para el caso de un suelo arcillo arenoso tendrá la curva



Forma aproximada de la curva de tensión de humedad del

suelo en un suelo arcillo-arenoso

Los valores de la curva se obtienen de la siguiente manera, se pone el suelo a diferentes tensiones y para cada una de ellas se obtiene su contenido de humedad

Determinación de la curva de humedad del suelo

El procedimiento consiste en obtener datos de humedad a diferentes tensiones partiendo de 0.3 atmósferas, hasta 15 atmósferas.

Como resultado se obtiene una curva de forma hiperbólica, la que puede ajustarse por medio de una regresión simple.

Palacios (1963) propuso una ecuación de tipo exponencial que se puede utilizar cuando se dispone de pocos datos.

El parámetro C se adicionó debido a que, al probar con curvas de texturas de suelo diferentes se encontró que tan solo para algunos suelos era aceptable la ecuación

Tomando en cuenta que los puntos que se pueden considerar conocidos son la CC y el PMP, ya que estos valores de porcentaje de humedad, correspondientes a la tensión del suelo son aproximadamente constantes; expreso dicha ecuación de la manera siguiente:

$$T = \frac{k}{P_s^n} + C \quad (12)$$

Determinación de la curva de humedad del suelo

El mismo Palacios, analizando varias curvas de tensión de humedad de suelos cuya textura varia desde franco-arenoso hasta la arcilla encontró una ecuación de regresión entre la CC y la Constante C

Ya conocidos los parámetros de la ecuación se puede calcular con cierta aproximación la tensión del suelo para valores conocidos de Ps, o viceversa,

$$C = - 0.000014 CC^{2.7} + 0.3 \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{Log } k = \text{Log } (T_{pmp} - C) + n \text{ Log } Ps_{pmp} \quad (15)$$

Para mayor facilidad en el cálculo la ecuación que relaciona la tensión del suelo con el porcentaje de humedad se puede expresar en forma logarítmica

Para conocer el parámetro k se puede utilizar la siguiente ecuación.

$$\text{Log } (T-C) = \text{Log } k - n \text{ Log } Ps$$

$$n = \frac{\text{Log } (T_{pmp} - C) - \text{Log } (T_{cc} - C)}{\text{Log } Ps_{pmp} - \text{Log } Ps_{cc}}$$

El valor de n se puede indicar de igual manera:

Determinación de la curva de humedad del suelo

```
graph TD; A[Determinación de la curva de humedad del suelo] --> B[Como se indicó en incisos anteriores, el valor de PMP es aproximadamente 0.5 de CC por lo que para conocer en forma aproximada la ecuación de las curvas de retención de humedad cuando se conoce solo la capacidad de campo se recurre a las gráfica de la figura (gráfica para la obtención de los parámetros K, n y c de la ecuación de tensión de humedad). En la cual se pueden obtenerlos valores de los parámetros k y c entrando con el argumento capacidad de campo.]; B --> C[Este procedimiento es aproximado pero sirve para conocer la relación tensión-humedad, cuando no se tienen los medios adecuados para obtener las curvas en el laboratorio.];
```

Como se indicó en incisos anteriores, el valor de PMP es aproximadamente 0.5 de CC por lo que para conocer en forma aproximada la ecuación de las curvas de retención de humedad cuando se conoce solo la capacidad de campo se recurre a las gráfica de la figura (gráfica para la obtención de los parámetros K, n y c de la ecuación de tensión de humedad).

En la cual se pueden obtenerlos valores de los parámetros k y c entrando con el argumento capacidad de campo.

Este procedimiento es aproximado pero sirve para conocer la relación tensión-humedad, cuando no se tienen los medios adecuados para obtener las curvas en el laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilera, M. y Martínez R. (1996). *Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera*. 4ª Edición corregida. Universidad Autónoma Chapingo. México. 256 pp.

Ángeles, V.; Fernández, V. H.; Khalidou M. Bâ. y Díaz, C. (2002). *Elementos básicos de riego presurizado para productores: Microirrigación*. Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA - Facultad de Ingeniería). 210 pp.

Ángeles, V.; Fernández, V. H.; Khalidou M. Bâ.; Díaz, C. y Esteller, M. V. (2003). *Elementos básicos de riego presurizado para productores: Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera*. Universidad Autónoma del Estado de México. Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA - Facultad de Ingeniería). 172 pp.

Campos, D.F. (2005). Estimación empírica de la ETo en la república mexicana. Ingeniería Hidráulica en México. Facultad de Ingeniería. UASLP. México. (99-110) pp.

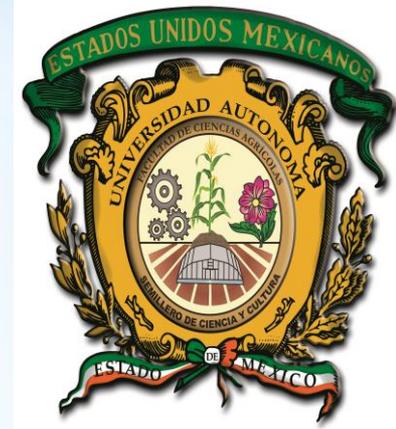
Israelsen, O. W. y Hansen, V. E. (2003). Principios y Aplicaciones del Riego. 3ª ed.

Reverté, S.A. Barcelona, España. 395 pp.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



GRACIAS

