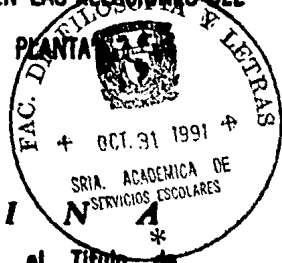




# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Filosofía y Letras

"LA FUNCION DEL SUELO EN LAS RELACIONES DEL  
AGUA Y LA PLANTA



**T E S I S**  
Que para obtener el Título de

**LICENCIADO EN GEOGRAFIA**

present a

**ALBERTO ROUNTREE DE ICAZA**

MEXICO, D. F.

1991

**FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **CONTENIDO**

- 1. Introducción.**
  - 1.1 Antecedentes Históricos de la Agricultura en México.**
  - 1.2 Agricultura y desarrollo.**
- 2. Interrelaciones Agua-Suelo-Planta.**
  - 2.1 Importancia del agua en las plantas.**
  - 2.2 Importancia del agua en el suelo.**
  - 2.3 Cómo medir el agua en el suelo.**
  - 2.4 Función de la raíz como captadora de agua.**
  - 2.5 Dinámica del agua en la planta.**
  - 2.6 El agua y los minerales para la planta.**
  - 2.7 Pérdida de agua en la planta.**
- 3. Almacenamiento y dinámica del agua en el suelo.**
  - 3.1 Ciclo Hidrológico.**
  - 3.2 Constantes de Humedad en el suelo.**
  - 3.3 Retención y liberación del agua en el suelo.**
  - 3.4 Movimiento del agua en el interior del suelo.**
- 4. Tensión hidráulica y crecimiento de las plantas.**
  - 4.1 Causas de la tensión hídrica en la planta.**
  - 4.2 Efectos de la tensión hídrica en la planta.**
  - 4.3 Resistencia a la sequía.**
  - 4.4 Labranza y riego para el crecimiento vegetal.**
- 5. Conclusiones.**

## 1. INTRODUCCION

¿Por qué crecen las plantas? Esto es una pregunta aparentemente muy fácil de contestar, pero lo normal es pensar en el complejo mundo que se desarrolla dentro de las plantas, en donde, a través de un conjunto de reacciones químicas, procesos biológicos y una intrincadísima red de conductos interiores, los componentes vegetales van produciendo un crecimiento lento, pero de extraordinaria magnitud.

¿Por qué es importante para el hombre el conocimiento del desarrollo de las plantas? Esto resulta mucho más difícil de contestar, pues conlleva a un sinnúmero de campos de acción que van, desde la antropología social, pasando por la economía, la filosofía y otras ciencias sociales, hasta la aplicación pura de la Biología, la Física o la Química.

Para el geógrafo, inmerso entre las ciencias sociales y las ciencias denominadas "naturales", la profundización en el conocimiento de los procesos esenciales en el desarrollo del crecimiento vegetativo, le permiten determinar, no solo la capacidad de tal o cual medio, para el mejor aprovechamiento de la naturaleza, sino enmarcar, en un proceso histórico, como es que las distintas civilizaciones han logrado encumbrarse, y como han sido agotados aquellos recursos, mediante los cuales se garantiza el desarrollo de determinada región.

El interés particular para el desarrollo de este tema, está marcado en la necesidad de conjuntar, en un estudio breve,

los muy intrincados procesos que forman parte del desarrollo de la agricultura, toda vez que ha sido ésta la pauta esencial en la sobrevivencia de la humanidad.

Pretender explicar el vasto contexto social de la agricultura, es un trabajo que llevaría a interminables estudios de carácter social, político, económico, físico, biológico y cultural, que, en resúmenes cuentas, no se podría abarcar en este trabajo. Por tal motivo se tratará de explicar solamente como funciona el modelo básico de la estructura del crecimiento vegetal, a través del elemento que lo fija al mundo y del cual depende: el suelo. Además determinar como un elemento tan sencillo como el agua, una vez que entra en contacto con el suelo, inicia una serie de procesos en cadena que concluyen con la aportación de los elementos necesarios para las plantas, el desarrollo de las comunidades vegetales y la construcción del bastión de la cadena alimenticia para el hombre, lo que se llama agricultura.

### **1.1 Breve historia de la agricultura.**

La agricultura es, sobre todo, la base del desarrollo social y económico del hombre. Ha sido, a través de la Historia, la principal fuente del quehacer humano, desde la prehistoria, creó las bases del comportamiento social, determinó las formas de organización e impulsó el desarrollo de la cultura.

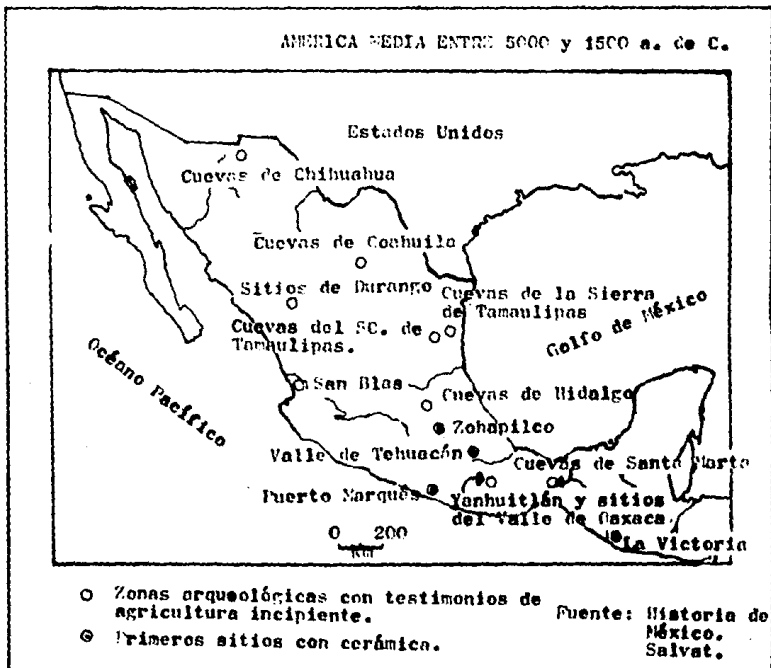
No se sabe cuando apareció en el mundo, algunos historiadores le otorgan una antigüedad superior a 10,000 años, aunque la mayoría coinciden en que se originó en Asia y más concretamente existen dos versiones, una nos habla de oriente medio (Jarmo, en el actual Irak) y otra nos refiere a las llanuras chinas entre los grandes ríos Amarillo y Azul.

La agricultura puede ser considerada como el arte de dominar la producción de plantas para el servicio del hombre, siendo entonces necesario comprender, que la recolección nómada de frutos y semillas, por los pueblos más primitivos, no era precisamente una forma de agricultura, pero fue a través de ésta, que el hombre comenzó a darse cuenta de cual era la forma de establecer un orden en a sus actividades sociales.

México no podía ser una excepción en éste caso. Los primeros pobladores fueron numerosas tribus dispersas por el territorio y a expensas de los periodos naturales de crecimiento vegetal, lo que los convertía en nómadas. Geográficamente, México está comprendido en latitudes tales, que la zona más extensa comprende la misma latitud que los grandes desiertos del

mundo; el relieve no ayuda mucho, encerrando la mayor porción (Altiplanicie Mexicana) entre grandes cordilleras que evitan la circulación de humedad en el interior, de manera que solo regiones bien provistas de todos los recursos necesarios, podrían ser aptas para establecer asentamientos capaces de producir el alimento que requiere una creciente población.

Sin embargo, importantes descubrimientos arqueológicos han dejado ver que hace cerca de seis mil o siete mil años, ya se practicaba una agricultura incipiente (Valle de Tehuacán, Pue.), Oaxaca, etc. ya se conocían rudimentarios utensilios agrícolas, elaborados con piedra y obsidiana. (fig. 1.1.1)



Una vez que las tribus comienzan a controlar el crecimiento y producción de plantas y animales, se dan los fundamentos para desarrollar grandes sociedades, basadas en el tipo de propiedad de la tierra y los fines de su producción. Destacan por supuesto aquellos grupos que, una vez asentados, lograron un desarrollo tal, que en ocasiones opacaría a los científicos modernos. Desde la agricultura nómada de las regiones tropicales, el barbecho, el aprovechamiento de vegas, la construcción de terrazas (los mayas destacaron especialmente por sus terrazas agrícolas, que cubrían muchos kilómetros cuadrados de superficie), etc., hasta la creación de chinampas, campos de cultivo artificiales en las regiones lacustres, que además de producir alimentos, constituyeron verdaderos jardines flotantes, lo que le valió a Moctezuma, a la llegada de los españoles, ser comparado con los babilonios, por sus conocimientos y exquisito gusto en floricultura.

La llegada de los conquistadores tuvo diversos efectos sobre la organización agrícola de los autóctonos. Por un lado la imperiosa necesidad de extender la cultura europea, motivó que la mayor parte de los documentos indígenas se extraviaran, perdiéndose con ellos varios siglos de ciencia, arte y cultura, entre la que destacan por su importancia, la misma organización agrícola de los aztecas, (Atepetlallis, Mitchimallis, Teotlispanes, Calpullis, etc.) la compleja clasificación edafológica de los purepechas, las técnicas agronómicas mayas, comparables al desarrollo agrícola de la Europa moderna, la distribución agrícola Mixteco-zapoteco, etc.



Sin embargo no todo fue negativo en los novo-hispanos, pues con ellos trajeron nuevas técnicas y sobre todo, instrumentos de labranza que aumentó la capacidad de producción, la aportación de especies ganaderas y en general nuevos productos agrícolas, que ampliaron la dieta del mexicano, transformado tras la fusión de dos culturas.

Por otro lado, el interés primordial del conquistador no estaba basado en el desarrollo de la agricultura, sino en la obtención de grandes y rápidas riquezas minerales, que además, abundaban en este país, mismas que no solo se manifestaban en la colonia, sino que, aún durante la primera época del México independiente, fueron creando una estructura agrícola, basada en los grandes hacendados, que usurpaban las tierras indígenas y que fueron motivando, poco a poco, el proceso de empobrecimiento popular que condujo a la Revolución de 1910.

Con el establecimiento de un nuevo orden socio-económico, inició el siglo XX, precursor de serias reformas agrarias que ya fueron apoyadas en la Constitución de 1917, como fueron los decretos de expropiación de la tierra, que es de la nación, la división de latifundios, la limitación en la adquisición de parcelas, etc. En 1915 se estableció el régimen legal de tenencia de la tierra (afirmado con el art. 27 de la Constitución de 1917) y ratificado en los códigos agrarios, hasta la aparición, en 1971, de la Ley Federal de la Reforma Agraria.

A pesar de los profundos cambios sufridos en materia política, el desarrollo de la agricultura, no solo se relaciona con los procesos históricos y los adelantos científico-técnicos. Existen también elementos de carácter natural, que, además de determinar el grado de desarrollo de cierta región agrícola, han definido el valor y posibilidad de usufructo del campo mexicano. Dichos elementos son muy sencillos, tanto que en ocasiones llegan a olvidarse, las características del suelo, la radiación solar, las vicisitudes climáticas, la aportación de agua, etc. Por ello es que se pretende profundizar un poco en ellos para comprender de qué modo la propia naturaleza de las cosas, pone de manifiesto al hombre la importancia que tiene cada elemento en particular. Como dice el viejo adagio de que tanto en el saber y el quehacer "de granito en granito se llena el jarrito".

## 1.2 Agricultura y desarrollo.

Sería casi imposible resumir en un solo punto de un capítulo, la historia del desarrollo social y sus relaciones en la agricultura. Pero para hacer una pequeña síntesis, se puede decir que la historia del desarrollo social del hombre, consta de cinco etapas, mismas en que la agricultura, no solo está relacionada, sino que de hecho, es la que les ha dado forma.

La primera de ellas, el comunitivismo primitivo, tiene como principio la aparición del hombre sobre la Tierra. En dicha época el hombre se dedicaba principalmente a labores de sobrevivencia, y poco a poco va dominando a la naturaleza. Cuando

hace unos nueve o diez mil años aparece la agricultura, surge también la primera división del trabajo, logrando que el hombre se arraigue en la tierra, convirtiéndose de nómada en sedentario, pasando a formar entonces los primeros pueblos civilizados. Es el paso más importante en el desarrollo de las fuerzas productivas. Durante este período el trabajo no creaba mayores excedentes, dando lo necesario para subsistir y regido sobre todo en la cooperación de los integrantes de la comunidad.

Con el tiempo las distintas tribus comienzan a pelear por el espacio circundante, aparecen las armas (y con ello el desarrollo de la metalurgia), el desarrollo de las fuerzas productivas alcanza tal nivel, que las relaciones de producción dominantes se colapsan, el trabajo y la propiedad colectiva entran en contradicción. El hombre se da cuenta que organizado en el trabajo puede producir excedentes económicos, aparece el intercambio de mercancías, el dinero, etc., deja de repartir su producción y aparece la propiedad privada de los medios de producción; la hacienda individual se convierte entonces en la principal actividad económica.

La segunda etapa de desarrollo social, es la denominada esclavismo, que va surgiendo con las conquistas a otros pueblos, en donde, el premio más importante es la obtención de fuerza de trabajo. Conforme avanza este período, los hombres libres, pequeños campesinos, van perdiendo fuerza respecto a los más poderosos, pasando a rentar su fuerza de trabajo para pasar después a ser siervos y por último esclavos. El contar con esta

nueva capacidad laboral, gratuita y con absoluta disposición, va creando un periodo de auge, apareciendo en la agricultura nuevas ramas de producción, como la horticultura y la fruticultura, nuevos instrumentos de labranza mejoran la producción. Los nuevos esclavos construyen presas y obras de drenaje, y el ocio de los propietarios despierta nuevas actividades como la ciencia, el arte y la cultura en general.

El auge del esclavismo se alcanza en Grecia primero y Roma después, en donde se va debilitando al corromperse la organización social, por lo que algunos esclavos libertos u hombres libres van consiguiendo tierras a cambio de algunos tributos, dicha tierra pasa a sus manos con todo y su fuerza de producción, con lo que se va gestando una nueva forma en el desarrollo social. La agricultura recibe la aportación de importantes adelantos en el conocimiento de la Pedología, Ingeniería Hidráulica, conocimientos climáticos, etc.

Sin embargo también nacen dos clases dentro de la sociedad. Los explotadores, dueños de la tierra y de la fuerza de trabajo y los explotados, hombres que solo pueden dar esa fuerza laboral para subsistir. Más aún, este sistema crea excedentes de producción que generan a su vez la necesidad de intercambiar productos, mismos que se convierten en moneda y en principio del valor comercial, con lo que vendrá a evolucionar un nuevo participante de la sociedad, el comerciante.

Algunos autores piensan que el esclavismo fue un mal necesario para el desarrollo social de la humanidad, pero ya sea

de una o de otra forma, el decaimiento de la producción ante la falta de interés de los esclavos en un trabajo perfeccionista, el aumento y abuso del comerciante que empezaba a fortalecerse y las complejas relaciones políticas de un mundo cambiante, resultaron en la implantación de un nuevo tipo de organización social llamada Feudalismo.

Dos causas son básicas en el desarrollo agrícola del feudalismo: primero, los esclavos sublevados y la escasez de mano de obra, que obliga a los terratenientes a "rentar" la tierra, de manera que esta sea trabajada con una nueva motivación, es decir, la posibilidad de ser algún día propietario de ella, de manera que se reincorporaron a la producción, aunque el costo del suelo nunca podrían pagarlo.

Por otro lado, las guerras que debilitaron a los fuertes estados esclavistas, generaron que sus nuevos ocupantes se quedaran con la propiedad de lo conquistado, necesitando mano de obra calificada para usufructarla, o bien los viejos estados se alían con otros pueblos vecinos para defenderse, ofreciendo tierra a cambio de ayuda. De cualquier forma, la cantidad de nuevos propietarios y de muchos pobres necesitados de trabajo fue el origen de este sistema.

Durante el Feudalismo, la tenencia de la tierra adopta varias formas básicas, como son: las mesnadas reales o tierras del rey, trabajadas por un gran número de siervos que le sirven; las tierras de la corona, cedidas a señores o parientes del rey, ya sea por favores personales, acciones bélicas, contratos

matrimoniales, etc.; las de la iglesia, que eran utilizadas para la manutención del poder eclesiástico que crecía considerablemente; por último, las tierras de los monasterios y conventos, limitadas a pocos acres de superficie y con la única función de mantener al personal de dichos centros.

Aunque el feudalismo no desaparece por completo hasta ya entrado el siglo XX, bien es cierto que mucho antes, había empezado a declinar. En Francia, por ejemplo, durante los siglos XII y XIII, grandes zonas son trabajadas por agricultores que pagan con dinero en efectivo. Sin embargo se considera al siglo XVIII, con la Revolución Industrial, donde el capitalismo hace su verdadera aparición y, si bien esta forma de producción aporta los adelantos técnicos para el desarrollo de la sociedad, es la Revolución Francesa la que sentará las bases ideológicas del nuevo modo de producción.

Para la agricultura, una de las causas fundamentales para el despegue hacia el capitalismo, la da el comercialismo en las nuevas tierras descubiertas. América, Asia y parte de Oceanía se abren de repente como fenomenales extensiones para cultivar, donde los grupos sociales que las llegan a habitar, buscan antes que nada, formas de producción innovadoras que se aparten de la rígida vida económica de las metrópolis.

De cualquier forma, la agricultura capitalista va a diferir de la feudalista, por el alto nivel técnico de los elementos de trabajo, que de alguna forma van desplazando la mano de obra del campo a la ciudad. Las sociedades europeas más avanzadas

aprovechan la poca extensión de tierra, mecanizando hasta lo inimaginable el campo; esto, llevado a las grandes extensiones de América, generan latifundios agrícolas cuyas superficies son incluso superiores a la de algunos países europeos. Esta agricultura intensiva da origen a la agricultura especulativa y genera, en los países más pobres, una dependencia más marcada hacia las potencias monopolizadoras.

El triunfo de la revolución socialista de la URSS, va a cambiar por completo el desarrollo de la agricultura, México ya había creado un importante precedente en su guerra civil, pero dichos principios se perderían en la atomización del campo, que terminó como pequeño productor capitalista, y sin embargo pudo hacer funcionar las cooperativas ejidales, que de alguna manera fueron las bases tanto del koljós como del sovjós socialista, en donde la agricultura resurge en forma organizada, mecanizada y con muy altos rendimientos, al dársele el mismo enfoque que al desarrollo industrial. En la agricultura socialista de carácter centralizado, lo más importante es lograr el entusiasmo del agricultor de manera que el trabajo del campo no se burocratice. Caso similar es el de los kibbutz israelíes, que aunque pertenecen al mundo capitalista, su peculiar forma de producción es más similar a la producción socialista.

## **2. Interrelaciones Agua-Suelo- Planta.**

La tensión interna del agua es determinante en el desarrollo vegetal y puede ser la causa de un desastroso crecimiento o de un deficiente rendimiento. La planta no solo consume agua, sino que por un procedimiento primordialmente pasivo la pierde en la atmósfera de acuerdo a la cantidad de energía disponible del Sol, regida por fuentes advectivas como la resistencia a la absorción del agua del suelo, su resistencia al movimiento en el interior de la planta, así como a la humedad, temperatura, movimiento del aire y cualquier otro factor que se mantenga en la periferia de sus hojas.

Por lo mismo, sobre la estructura de las plantas vasculares, transferentes del agua del suelo a la atmósfera, se determinan en mayor medida su capacidad de desarrollo, de modo que es preciso enfocarnos a su estudio para entender mejor sus relaciones.

### **2.1 Importancia del agua en las plantas.**

Es bien conocido que el agua es una condición indispensable para todos los seres vivos, y las plantas, como tales, no son la excepción. Sin embargo pocos son los que saben a conciencia, en que se basa esa importancia vital.

El agua juega dentro de las plantas, papeles primordiales como son : ser un constituyente de la planta misma, formando parte de sus órganos y células; como disolvente, en los procesos de aprovechamiento y circulación de gases, minerales y solutos

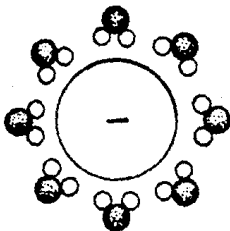
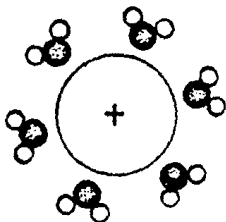


en los tejidos celulares; como reactivo en complejos procesos, tales como la fotosíntesis o la hidrólisis; y para poder mantener la turgencia (propiedad de los líquidos de ensanchar los tejidos orgánicos) que permite el crecimiento de las células.

También el agua tiene una importancia "ecológica" para el mundo vegetal, pues la distribución de las plantas en distintas partes del orbe, se relaciona directamente con la cantidad de agua disponible para su desarrollo. Esta disponibilidad, a su vez, se relaciona directamente con otros factores físicos, como serían la temperatura, las características del suelo (permeabilidad o impermeabilidad) el relieve, etc.

El hecho de que las moléculas de agua estén organizadas en sólidas estructuras, ensambladas mediante enlaces de hidrógeno, le da el valor específico más alto de todas las sustancias líquidas (a excepción del amoníaco líquido) y por ende, una viscosidad y tensión superficial elevadísima, lo que proporciona la fuerza de tensión necesaria para la cohesión de ascenso de la savia. (Fig. 2.1.1)

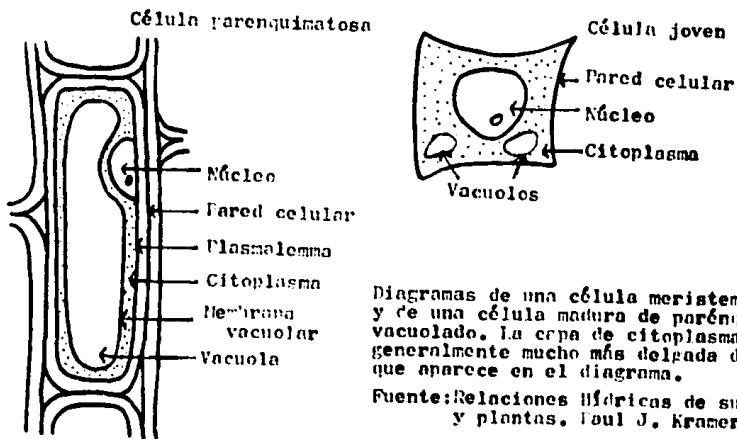
Por otro lado, tanto las proteínas como las paredes celulares, citoplasma y vacuolas, necesitan para su estabilidad y postrer desarrollo, de una cantidad fija y constante de agua. De hecho las relaciones hídricas de la planta son dominadas por la relación particular de cada célula, dado que casi la totalidad del líquido se encuentra en ellas (principalmente en las vacuolas), siendo un sistema continuo. En equilibrio, esta agua se distribuye en las distintas estructuras, de acuerdo con sus



**Fig. 2.1.1** Organización de las moléculas de agua en capas orientadas o capas alrededor de iones con los átomos de oxígeno más próximos de los cationes, los átomos de hidrógeno más próximos a los aniones. Esas capas tienden a separar los iones de la carga opuesta y les permiten existir en disolución. También quebrantan la estructura normal del agua y aumentan levemente el volumen. (Según Buewell y Redebush, 1956.)

Fuente: Relaciones Hídricas de  
suelos y plantas.  
Paul J. Kramer.

volúmenes proporcionales respectivos y su capacidad particular para contenerla. Este equilibrio, frecuentemente alterado por los cambios en el porcentaje de concentración de solutos, o partículas fijadoras de agua, hasta reestablecer un nuevo equilibrio del potencial hídrico. La libertad de los flujos hídricos en el interior de la planta, hace que el agua se encuentre distribuida en cantidades distintas en cada parte, teniendo por consiguiente distintos coeficientes de retención. (Fig. 2:1.2)



Diagramas de una célula meristemática y de una célula madura de parénquima vacuolado. La capa de citoplasma es generalmente mucho más delgada de lo que aparece en el diagrama.

Fuente: Relaciones Hídricas de suelos y plantas. Paul J. Kramer.

El agua tiende a pasar de regiones de potencial hídrico elevado a otras regiones con menor potencial, pudiendo explicarse este flujo en términos de ósmosis (filtración de agua a través de membranas celulares) y flujo masivo.

## 2.2 Importancia del agua en el suelo.

Dado que en el tercer capítulo, se trata el tema del agua y el suelo con mayor profundidad, aquí solo se pretende establecer por qué es importante el contenido de agua en el suelo.

El suelo es un sistema muy complejo, formado básicamente por cuatro componentes esenciales, que son: la materia orgánica, suelta y en descomposición, la materia inorgánica, procedente de la roca original, desintegrada y cuyos fragmentos se van clasificando con la profundidad; estos dos elementos forman el cuerpo sólido del suelo. Los espacios porosos o vacíos que se forman entre estas partículas, son ocupados por los otros dos elementos, el agua o la disolución del suelo y el aire.

Además de dichos elementos, el suelo contiene también organismos vivos, bacterias, hongos, algas, insectos y otros seres, pueblan su interior y por supuesto, intervienen directa o indirectamente en la estructura y crecimiento de las plantas.

El suelo proporciona la base a las plantas, que permite el afianzamiento de las raíces y la erección de los tallos, así como también actúa como depósito de los nutrientes minerales y orgánicos indispensables para su crecimiento. De hecho, el éxito que cualquier planta tenga en una región determinada,

depende de la adecuación del suelo como ámbito de crecimiento y funcionamiento de sus raíces.

El contenido hídrico del suelo, sin embargo, no implica necesariamente una disponibilidad de agua para la planta, sino que está más relacionado con la capacidad de retención de agua en el suelo. Existen pues, tres mecanismos principales para este proceso. Una vez que el agua penetra en el suelo, es atraída por tensión, o por presión, teniendo que ser rellenados los espacios porosos con aire, que entra en contacto con el agua originando superficies curvas de agua en contacto entre las partículas de suelo. La tensión superficial de dichas superficies curvas equilibra la presión o tensión ejercida por el agua y por ello es un mecanismo de retención.

Conforme el agua se va retirando del suelo, éste se contrae, limitando la entrada de aire en el suelo y provocando que las partículas de suelo se vayan uniendo cada vez más. Dichas partículas tienen cargas negativas, por lo que se repelen unas a otras y, conforme se aproximan más, la fuerza de propulsión aumenta, equilibrando la tensión o presión por lo que el agua se pierde, y por ello es el segundo mecanismo de retención.

El tercer mecanismo de retención está determinado por la cantidad de solutos o sales que en disolución, contiene el suelo, dado que reduce la energía libre de los flujos hídricos o potencial hídrico y reducen la presión del vapor de agua que contiene el suelo.

Existen otros factores de retención de agua en el suelo pero tan firmemente fijada, que no es aprovechable por las plantas.

El coeficiente de infiltración de agua que tienen los suelos son también básicos para el reabastecimiento del suelo, ya sea mediante precipitación o por riego. Este coeficiente está determinado por el potencial hídrico original, la capacidad permeable de los estratos superficiales y algunas otras características internas, como pueden ser los espacios porosos, el grado de dilatación de los coloides, el contenido de materia orgánica o por la cantidad de precipitación recibida.

El movimiento del agua a través del suelo o conductividad hidráulica, está directamente relacionado al potencial gravitacional que tienen dentro de dos rangos de captación, la capacidad de campo, determinada por el contenido de agua tal, que sus flujos se hagan tan lentos, que no sean claramente apreciables (capacidad de saturación) y el porcentaje de agostamiento o límite más bajo de almacenamiento de agua aprovechable por las plantas. Esta conductividad disminuye al reducirse el potencial hidráulico, y si éste llega a niveles muy inferiores, el movimiento se hará solo por vapor de agua cuyos principales flujos son por lo general ascendentes en invierno y descendentes en verano.

### 2.3 Como medir el agua en el suelo.

El agua es esencial en el desarrollo vegetal, más el saber esto no puede ser suficiente, sin poder evaluar la cantidad y calidad de la misma. Por ser el suelo el receptáculo natural del agua para las plantas, el problema de su medición es complejo, aunque gracias a los novedosos adelantos científicos, existen ya muchos y variados instrumentos que facilitan la tarea.

El potencial hídrico es quizá el elemento que más ayuda al conocimiento que se busca. Este potencial está representado por dos componentes, el potencial mátrico y el potencial osmótico (presión). Para medir el potencial mátrico, se puede usar directamente un tensiómetro, compuesto por un tubo de cerámica porosa que se entierra en el suelo, conectada a otro tubo lleno de agua que actúa con un manómetro o vacuómetro (mide el vacío dejado). El tensiómetro tiene sin embargo el problema de que, cuando los valores de presión en el suelo son demasiado bajos, la copa de cerámica toma contacto con el aire, inutilizando el valor real del instrumento. Cuando esto sucede, es necesario utilizar los bloques de resistencia eléctrica, bloque de yeso recubierto de resina, al que se le conectan dos guías aisladas con un puente de resistencia, lo que permite registrar cambios de la conductividad eléctrica del suelo con límites de sensibilidad muy bajos (hasta de de -15 barios) .

El potencial osmótico se mide, generalmente, por métodos crioscópicos, basado en el cálculo del potencial de soluto a partir de la relación entre el potencial químico y la depresión del punto de congelación del agua en el suelo. Sin

embargo éste método no siempre resulta lo fiel que se desea, por lo que siempre se hace una corrección proporcional al porcentaje de disolución de los solutos.

La capacidad de campo y el porcentaje de agostamiento son dos valores útiles para medir el potencial hídrico, puesto que señalan los rangos mayor y menor del agua disponible para el aprovechamiento de la planta.

La irrigación es en esencia, la aplicación más importante del conocimiento del potencial hídrico, puesto que los horarios y duración de la misma dependen, en gran medida, de las necesidades específicas del suelo, sus características, extensión y por supuesto, del tipo de cultivo en que se aplique.



#### 2.4 Función de la raíz como captadora de agua.

Los sistemas de raíces tienen cuatro funciones determinantes que son: la fijación de las plantas al suelo, relacionada a las fuerzas mecánicas del suelo. La síntesis de compuestos, que determinan la optimización de los minerales que emplea en su crecimiento. El almacenamiento, tanto de agua como de nutrientes empleados en su desarrollo y, por último, la absorción.

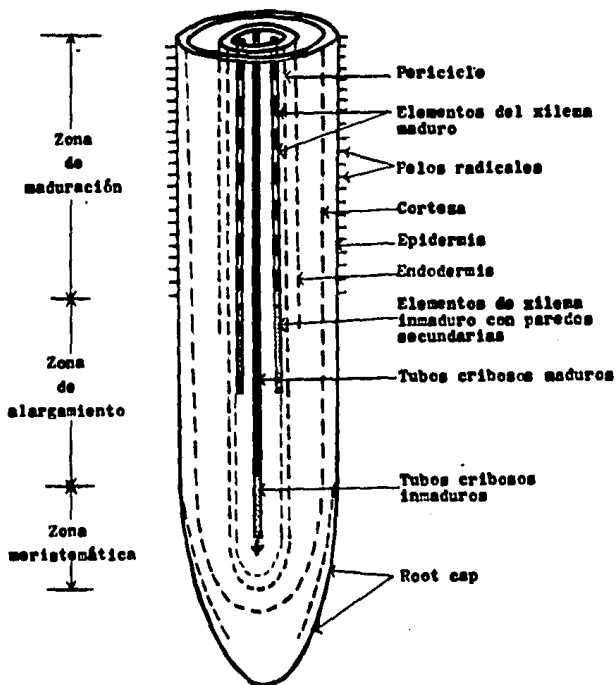
El tipo de raíces de las plantas está determinado por las características hereditarias de la especie a la que pertenece, y esto determina su capacidad de absorción de agua. La absorción continua del agua por las raíces de las plantas van a determinar no solo el crecimiento de las mismas, sino también su supervivencia. Esta absorción se lleva a cabo cuando el valor del potencial hídrico del suelo va en disminución y depende en gran parte de la resistencia al flujo hídrico en el suelo.

El agua tiende a penetrar en las raíces más rápidamente por las regiones que ofrecen menor resistencia a su movimiento, lo que va a variar de acuerdo a cada una de las especies, su edad, los coeficientes de crecimiento, etc. Otro elemento vinculado estrechamente con la absorción de agua por la planta, es la transpiración, la presión de la savia en los conductos de la raíz (xilema), por lo general es inferior a la presión atmosférica, por lo que el agua es atraída a las raíces

actuando como superficies de absorción pasiva. Por el contrario, las plantas que transpiran lentamente, que generalmente crecen en zonas con un potencial hídrico alto, generan una presión sobre los xilemas conductores, por lo que la raíz exuda el exceso de savia permitiendo la conducción activa del flujo hídrico, proceso llamado gutación de la raíz. ( Fig. 2.4.1.)

Por otro lado, la exudación de savia depende de la acumulación de sal en el xilema que, por osmosis, rebaja el potencial hídrico de la savia por debajo del sustrato, siendo esto necesario para lograr una mayor absorción de agua. En ocasiones, existe una presión en los tallos vegetales que provocan un proceso de exudación, pero éste es independiente del proceso llevado a cabo en las raíces.

Existen dos factores que pueden afectar la absorción de agua por las raíces. El primero se refiere a elementos que afectan la relación del potencial hídrico y la raíz, mismo que se lleva a cabo directamente en el suelo, como su textura o su conductividad hidráulica. Los segundos se refieren a los factores que afectan la resistencia contra el movimiento del agua a través del suelo y en las raíces, como podría ser la aireación del suelo, la temperatura o el grado de suberificación de las raíces mismas. El potencial hídrico mínimo que puede existir en el suelo para lograr una adecuada absorción, se relaciona directamente con el potencial hídrico mínimo que se debe desarrollar en la raíz.



**Fig. 2.4.1** Diagrama del punto de una raíz de tabaco mostrando el orden de maduración de distintos tejidos. La distancia desde el punto vegetativo en que los distintos tejidos se diferencian y maduran, depende de la clase de raíz y del coeficiente de crecimiento.

Fuente: Relaciones hídricas de suelos y plantas.  
Paul J. Kramer

## 2.3 Dinámica del agua en la planta.

Las plantas están quizá entre los primeros habitantes del planeta. Sin embargo las condiciones para su existencia han tenido que sortear, al igual que en todos los seres vivos, un sinnúmero de cambios, transformaciones, adaptaciones y, en general, todo paso necesario a través de la evolución. Uno de los cambios de mayor relevancia, está dado por la necesidad de formar un sistema conductor de agua capaz de crear un flujo masivo de agua, desde las raíces hasta las superficies evaporantes de sus vástagos.

La resistencia al movimiento de agua a través de las masas de células (parenquimatosas) es de tal proporción, que sería prácticamente imposible que la suficiente cantidad de líquido subiera, entre la médula y la corteza, desde las raíces hasta los vástagos de las enormes plantas que transpiran. De modo que se creó un sistema vascular que por compensación de los potenciales hídricos, ordena el abastecimiento continuo en todas las partes de la planta, evitando que sus partes o el conjunto total, carezcan del preciado líquido. El agua se mueve a través de esas masas de células, y son sus paredes las que realizan tal flujo. (Fig. 2.3.1.)

Fig. 2.5.1

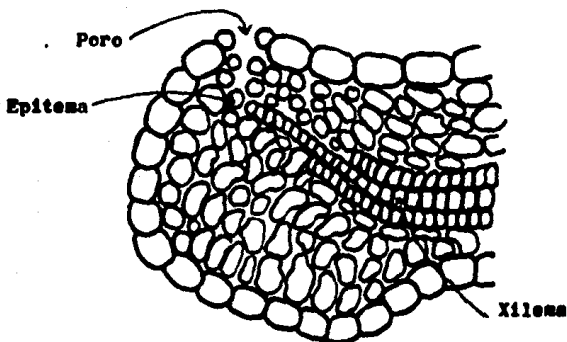


Diagrama de un hidratodo que muestra un poro, el epitema subyacente y la terminación de los elementos del xilema. El epitema es una masa de parénquima de paredes delgadas con grandes espacios intercelulares. Los hidratodos, generalmente, parecen estomas incompletamente diferenciados con células de guardia no funcionales. Adaptado de varias fuentes.

Fuente: Relaciones Hídricas de suelos y plantas. Paul J. Kramer.

Todo este complejo mundo de redes de distribución de flujos de agua, bien se puede dividir en cuatro partes: el sistema conductor de las raíces, el de los tallos, el de las hojas y la conducción fuera del sistema vascular.

En las raíces, el agua empieza por traspasar una capa compacta de células llamada epidermis, aprovechando los espacios de aire que quedan entre las paredes más delgadas de éstas. Posteriormente se encuentran con la hipodermis, dentro de la cual existe un cilindro de parenquimia cortical llamado endodermis, cuyo ordenamiento celular muy descuidado contiene numerosos espacios y hasta lagunas intercelulares, debido a lo cual, éstos son llenados por gases que las impermeabiliza al flujo del agua. Cuando la endodermis está delgada o inexistente, el agua puede llegar hasta el xilema. Una vez dentro, el agua tropieza con relativamente poca resistencia en sentido longitudinal.

El xilema no debe tomarse como un conducto único y continuo, de la raíz al extremo opuesto de la planta, sino que conforme se adentra en el tallo, todo es un conjunto de vasos que se cruzan, ramifican y sobreponen unos a otros continuamente, de manera que el agua debe de pasar, en su camino hacia las hojas, por cientos de miles de caminos transversales, y así el flujo hídrico nunca pueda ser bloqueado.

Del tallo pasa a la hoja por el peciolo, donde el sistema vascular se ramifica en delgadas nervaduras que distribuyen el agua por la superficie, constituyendo cada uno, un camino para el traslado de agua y solutos a la hoja.

El último elemento que interviene en la conducción se da a través de las paredes celulares fuera del xilema, puesto que si se ha visto que para llegar al mismo es necesario que atraviesen las paredes celulares, es obvio que también pueden moverse longitudinalmente a través de ellas, aunque este movimiento es muy pequeño y excesivamente lento por la gran cantidad de obstáculos que van encontrando, también es un movimiento importante. ( Fig. 2.5.2.)

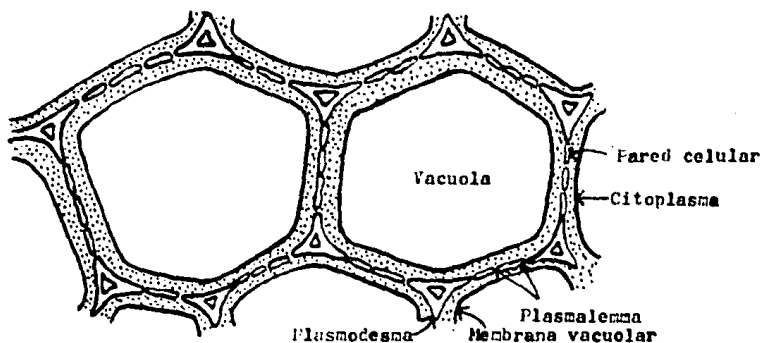


Diagrama de células de parénquima cortical que indican posibilidades de movimiento de la sal a través de las paredes y el simplasto formado por el plasmodesma que conecta los protoplastos de las células adyacentes.

Fuente: Relaciones hídricas de suelos y plantas.  
Paul J. Kramor

## **2.6 El agua y los minerales para la planta.**

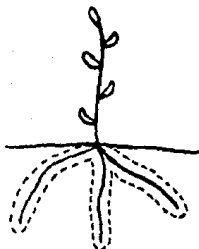
Cuando se estudia la vida de las plantas o del suelo, siempre se habla de la importancia del agua en general, pero en el desarrollo vegetativo existen otros factores determinantes, como son el aire, la luz y los nutrientes. Las plantas en general, no pueden tomar estos nutrientes mas que del suelo, en donde con la ayuda del agua, son preparados para su absorción y posterior distribución.

Los principales elementos que requiere la planta son: el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio, el azufre y el hierro; además del carbono, hidrógeno y oxígeno, estos tres últimos indispensables para su vida. Así mismo, el cloro, el sodio y el silicio son también elementos importantes en su desarrollo.

Básicamente existen dos formas en que las plantas obtienen los minerales nutrientes consideradas como transportes activos: la respiración y la absorción de agua. Lo mas acertado es aceptar que los minerales se encuentran en el suelo y las raíces de las plantas también, los minerales que requiere la planta se distribuyen en forma simple por las raíces o son conducidos a ella junto con los flujos de agua. ( Fig. 2.6.1 )

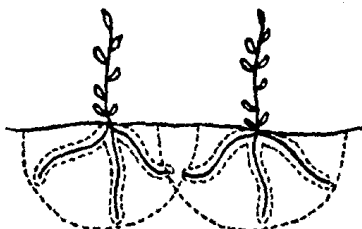


Fig. 2.6.1



Sistema de raíces  
Zona de absorción y adsorción  
de alimentos móviles.

Superficie de la raíz  
Zona de absorción y  
adsorción de alimentos  
inmóviles.



Región de competencia  
de los alimentos  
móviles.

El volumen de suelo ocupado por un sistema de raíces es mucho más grande que la zona de absorción y adsorción de la raíz o volumen de suelo realmente en contacto con las raíces. Los iones inmóviles tales como fosfatos, pueden ser absorbidos únicamente de la rizosfera, pero los iones móviles tales como el nitrato pueden ser absorbidos de la masa entera del suelo ocupada por el sistema de raíces.

Fuente: Relaciones Hídricas de  
suelos y plantas. P.J. Kramer

Todos los minerales son asimilados por las plantas en forma de iones y esto se lleva a cabo en tres etapas distintas. La primera consiste en los movimientos de los iones en el suelo hasta la superficie de la raíz, lo que se lleva a cabo por disolución, (proceso dentro del cual las moléculas estables pueden perder sus características disociándose en iones distintos) dado que el agua en el suelo desestabiliza los minerales convirtiéndolos en solutos. La segunda etapa se inicia cuando los iones minerales se encuentran cerca de la región apical de las raíces. Una vez ahí los iones tienen tres caminos a seguir para llegar al xilema que les conducirá al interior de la planta: a) moverse de vacuola en vacuola, el cual es poco importante dado que éste es sumamente lento y funciona más como vertederos de desviación para los solutos. b) movimiento a través del simplasto, que es un sistema continuo formado por el citoplasma entre las membranas de las vacuolas y aprovechando los plasmalemmas (canales entre las paredes celulares) de manera que existe una difusión debido a la corriente citoplásmica. c) La tercer vía es la creada por los espacios libres de las paredes celulares que permiten el paso de los iones minerales. De alguna manera, los tres medios intervienen para la difusión de iones de las paredes celulares hasta el xilema, aunque parece ser que el movimiento por el simplasto es el más adecuado a los requerimientos de la planta por su velocidad de difusión.

Cuando los iones se han abierto paso hasta el xilema se inicia la tercera etapa, en que serán conducidos desde la raíz

hasta los vástagos. Existen dos formas básicas de conducción, uno por intercambio a lo largo de las paredes conductoras y otro por flujo masivo dentro de la corriente de la savia. Sin embargo en algunas especies sucede que no todos los iones son conducidos como elementos inorgánicos, dado que, particularmente el nitrógeno, una vez dentro del xilema se convierte en compuesto orgánico, formando asidas y aminoácidos. La capacidad conductiva del sistema vascular será lo que determine el eficiente o deficiente consumo de minerales por las plantas, sin embargo muchos solutos son retirados de la savia del xilema por las células vivas contiguas, haciendo que la concentración de iones de la savia del xilema vaya disminuyendo conforme se aleja de las raíces.

Existe también una redistribución importante de los iones dentro de la planta, de manera que las hojas más viejas sacan los iones minerales por el floema (conducto por el cual la savia viaja descendentemente por los tallos) hacia las hojas nuevas, creando una recirculación iónica dentro de la planta.

Cabe por último decir que las plantas no solo van a absorber agua o sales minerales, las raíces también pueden captar sustancias orgánicas que, por la misma actividad selectiva del suelo, va filtrando y simplificando hasta la raíz misma; tal es el caso de azúcares, cloranfenicol y otras diversas sustancias, algunas de ellas, una vez dentro de la raíz y mientras inicia su recorrido por el sistema vascular, van siendo transformadas por células y enzimas hasta haberlas procesado por completo.

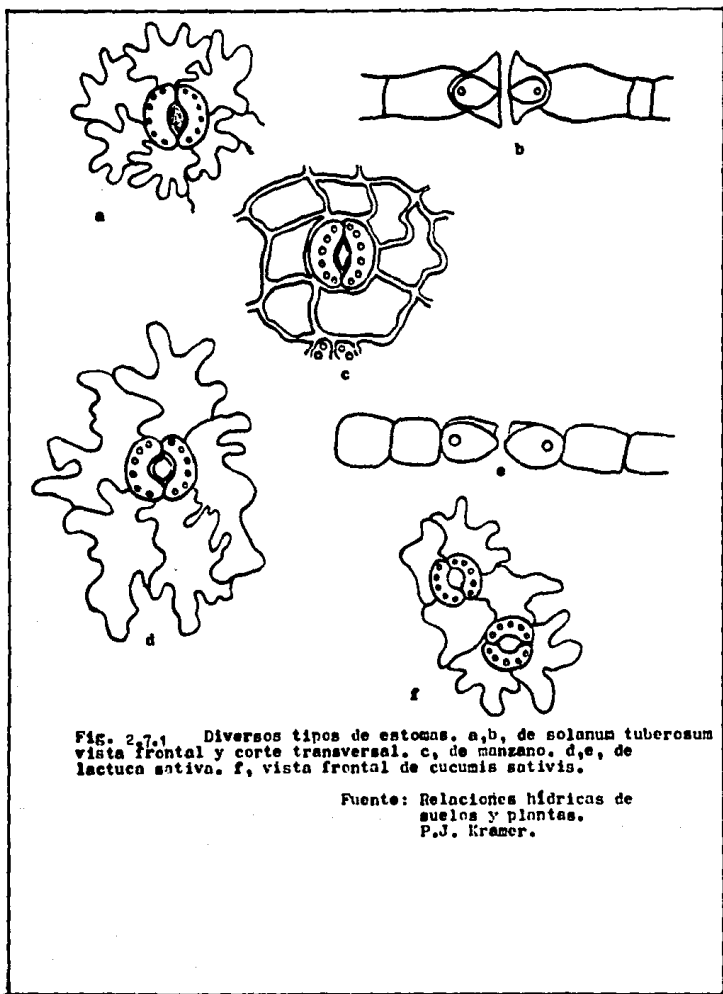
## 2.7 Pérdida de agua en las plantas.

Las plantas, una vez que han saciado sus necesidades de agua, no pueden retenerla por mucho tiempo y es necesario que la desechen. La forma natural que tiene el mundo vegetal, es el escape de agua en forma de vapor, de la planta, a lo que se denomina comunmente "transpiración". Aón siendo un proceso fundamental de evaporación, la transpiración está afectada por la estructura y el comportamiento estomático de las plantas, además de por los diversos factores físicos que inciden propiamente en la evaporación.

La importancia capital de éste fenómeno, está dado por la sencilla razón de ser el gradiente energético que impulsa el ascenso del agua desde la raíz, mismo que si llegase a potenciales negativos, determinaría lesiones o incluso la pérdida de la vida del sistema vegetal.

De este modo el coeficiente de transpiración va a depender de la capacidad de energía disponible en la planta para evaporar el agua, así como de la presión alcanzada por el vapor de agua (gradiente de concentración) y la resistencia que el vapor vaya encontrando por su camino, habiendo para ello tres obstáculos importantes, la cutícula, la concentración de las estomas y la capa de aire que circunda a las hojas. ( Fig.2.7.1)





**Fig. 2.7.1** Diversos tipos de estomas. a,b, de *solanum tuberosum* vista frontal y corte transversal. c, de manzano. d,e, de lactuca sativa. f, vista frontal de *cucumis sativus*.

Fuente: Relaciones hídricas de suelos y plantas.  
P.J. Kramer.

Los factores que afectan el coeficiente de transpiración tienen una compleja interacción. Dentro de los factores ambientales se pueden considerar, la intensidad de la luz, la presión del vapor, la temperatura del aire, el viento y el suministro de agua a la raíz. Pero también son importantes factores puramente vegetales como la extensión y eficacia del sistema de raíces para absorber agua, la superficie de las hojas, su estructura y ordenamiento, así como el comportamiento de los estomas. Cualquier cambio en uno de estos factores motivará el inminente cambio de los otros, tratando de mantener un equilibrio en el coeficiente de transpiración.

La transpiración genera una corriente regular dentro del sistema vascular de la planta, misma que determina la turgencia y, de hecho, mantiene la postura de la planta. Por otro lado cuando el agua se evapora en las superficies de transpiración, hace que estas se enfrien neutralizando la radiación que calienta los tejidos y por ende regulando la temperatura propia de la planta.

Por lo mismo es muy importante poder medir este coeficiente de transpiración, lo que puede hacerse de muchas maneras. La principal forma, se obtiene de medir el peso de la planta y su recipiente, y hacerlo después de transcurrido algún tiempo, de esta forma, se obtendría la relación de peso perdido por la pérdida de agua en la planta, método que recibe el nombre de "fitómetro". Existe también un método que consta en pesar hojas o ramitas recién cortadas de la planta, mismas que al ser desprendidas alivian parte de la tensión existente en el

sistema conductor de agua, produciendo un aumento temporal del coeficiente de transpiración. Sin embargo este método, llamado de vástagos cortados, tiene importantes diferencias producidas respecto a las hojas mismas unidas a la planta, por lo que no suele ser muy utilizado actualmente.

Se ha intentado calcular el coeficiente de transpiración, midiendo el coeficiente de flujo de la savia del xilema de los tallos conductores, pero tampoco resultó ser un método muy seguro pues existen diferencias altas en dichos flujos porque al aumentar el flujo de la savia (por calor generalmente) se produce un retraso de la absorción respecto a la transpiración causando una disminución de la tensión del líquido y mayor retención por parte de las células.

### **3. Almacenamiento y dinámica del agua en el suelo.**

El suelo se encuentra constituido por elementos sólidos, entre los cuales existen espacios que, por lo general, son ocupados por aire (gases en general) y por agua. Es un error considerar que toda el agua que entra al suelo, va formando depósitos de almacenamiento, mismos que quedan posteriormente a disposición de la cubierta vegetal para su postrer utilización, de manera que se se aplica agua en exceso, sobre todo en primavera y verano, ésta quedará almacenada para las estaciones secas y nunca faltaría el vital líquido a las plantas.

Sin embargo el resultado de semejante acción sólo resulta en un gran desperdicio de agua, la lixiviación o pérdida de sustancias nutritivas en el suelo y la formación de áreas anegadas con grandes acumulaciones de sales, que darían el efecto contrario al aprovechamiento de la cubierta vegetal.

Por lo mismo es necesario comprender como llega el agua al suelo, como el suelo es capaz de almacenarlo, como se llevan a cabo los flujos de agua dentro del suelo y como llega ésta a su interior. De esta forma se podrá entender qué parte del agua contenida en el suelo es verdaderamente útil para ser aplicada al crecimiento vegetal.



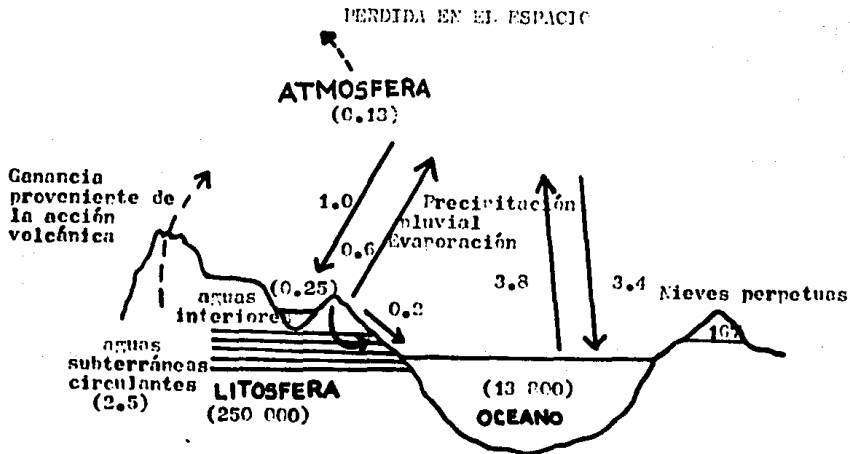
### 3.1 El ciclo hidrológico.

Se denomina ciclo hidrológico al sistema integral mediante el cual el agua llega al suelo, se mueve a través de él, regresa a los santos acuíferos y posteriormente se reintegra a la atmósfera en forma de vapor de agua. Una vez ahí, se vuelve a condensar y luego a precipitar, repitiéndose este proceso.

Sería muy largo enumerar solamente la cantidad de variables que intervienen en dicho ciclo, sin embargo el conocer algunas de estas ( las de mayor trascendencia) y poder valorar y cuantificar sus efectos, son indispensables para el desarrollo de la agricultura. ( Fig. 3.1.1.)

El ciclo hidrológico. Las cifras son geogramos ( $10^{20}$  gramos) de  $H_2O$  en los principales compartimientos de la biosfera y circulando entre compartimientos (flechas). Datos de Hutchinson, 1959)

Fuente: Cdum, E.P. Ecología.



El primer factor de importancia es la precipitación, misma que se mide en milímetros (mm) de agua mediante unos sencillos instrumentos llamados pluviómetros. Para poder hacer un balance de importancia respecto a la precipitación, hay que tomar en cuenta algunos factores de consideración, tales como: la cantidad total de lluvia que en un año se produce y como se distribuye por la superficie de la tierra; el origen de esa precipitación; su periodicidad a través de las estaciones del año; su variabilidad anual.

La importancia de conocer estos factores está dada por los requerimientos propios de las plantas en sus distintas fases de desarrollo y crecimiento, su resistencia a las temperaturas variables, las restricciones climáticas de determinada área, etc.

Una vez que el agua llega al suelo, la complejidad del sistema se empieza a notar, pues varios factores intervienen al mismo tiempo. Lo primero que se produce, por norma general es la infiltración, es decir que las primeras gotas de lluvia que caen van inmediatamente a ocupar, por simple gravedad, los espacios porosos de las capas superficiales del suelo.

De acuerdo a los grados de pendiente del terreno, empieza también a darse el escurrimiento superficial, mismo que no sólo arrastra líquido, sino que también conlleva partículas sólidas del suelo. Mientras el agua no cese de caer, estos dos procesos son los más significativos aunque también se empieza a dar un tercer factor relacionado con el drenaje propio del interior del suelo, hasta los llamados mantos freáticos que son

acumulaciones interiores de agua, posadas sobre estratos impermeables de suelos.

Pero una vez que la precipitación ha cesado, el sistema se complica todavía más. La radiación de onda corta del Sol inicia un proceso de evaporación en la parte superficial, las capas internas inician un proceso de dinámica de agua ( que será explicado posteriormente), a través de la lixiviación, la percolación y la elevación capilar; las plantas empiezan a transpirar utilizando sus reacciones fotosintéticas y evaporando el agua que cubre las superficies de tallos y hojas, los mantos freáticos mandan sus excesos de agua por los drenajes internos hasta los ríos, arroyos, manantiales y cuerpos de agua en general, de donde iniciará su camino nuevamente a la atmósfera para su postrer utilización.

Para poder captar las relaciones entre estas variables se usa una ecuación básica del balance hidrológico dado por:  $Pr + Es - dp - Eut + \Delta w = 0$

- en donde:
- $Pr$ , precipitación.
  - $Es$ , escurrimiento, tanto superficial como subterráneo.
  - $dp$ , drenaje y percolación.
  - $Eut$ , evapotranspiración de la planta y el suelo.
  - $\Delta w$ , agua almacenada en el suelo.

Por lo tanto es relativamente fácil determinar que si durante los periodos de sequia, la precipitación, el

escurrimiento se llegan a perder partes importantes del suelo mismo (erosión).

Cuando la precipitación sobrepasa la capacidad de retención del suelo, existirán entonces pérdidas importantes de agua por percolación, misma que estará sujeta entonces a la cantidad de lluvia precipitada, su distribución por el terreno, la evaporación, el carácter y composición propia del suelo y la mayor o menor presencia de cultivos.

Cuando el terreno se encuentra muy inclinado o los estratos son más impermeables, entonces se lleva a cabo la pérdida de suelos por escurrimiento. Las regiones húmedas son más afectadas por escurrimiento que las regiones áridas y si la pérdida del agua por escurrimiento afecta grandemente el desarrollo de la vegetación, la erosión del suelo es por consiguiente mucho más preocupante, dado que no solo se pierden los nutrientes sino que se pierde el sosten mismo de la vida vegetal.

#### 3.4 Movimiento del agua en el interior del suelo.

Existen dos maneras de enfocar el movimiento del agua en el suelo. El agua que entra al suelo y el agua que, estando en el suelo, se mueve por su interior.

El primer proceso es denominado infiltración y su conocimiento es necesario para conocer la recarga de humedad del suelo, ya sea por riego o por la lluvia. Este movimiento es causado principalmente por la gravedad y en una columna uniforme de suelo se aprecian cinco zonas de contenido hídrico. La

c) El exceso de agua no aprovechable, separada por el drenaje superficial respondiendo a la tensión de la película de agua y a las fuerzas de gravedad.

d) Los nutrientes naturales de las capas superiores del suelo, arrastrados junto con la película de agua.

El segundo grupo se refiere al agua de capilaridad con los consiguientes procesos :

a) La adherencia, tanto por la capacidad de campo como por el coeficiente higroscópico de los poros.

b) Una fuerte tensión de la película de agua que varía de 0.1 a 31 atmósferas.

c) Poca asimilación total por las plantas.

d) Equilibrio de la película a través de las partículas, de las más gruesas a las más finas.

e) La disgregación de solutos en los agregados minerales del suelo.

El tercer grupo se refiere al agua higroscópica que es la de mayor tensión en el suelo y que se refiere a los siguientes procesos:

a) Una tensión variable entre las 31 y las 10,000 atmósferas.

b) Una adherencia mayor entre los coloides del suelo.

c) Una transferencia de energía que la hace actuar solo en forma de vapor de agua.

Los contenidos de agua higroscópica y capilar, así como los valores de retención máxima de agua, están íntimamente

ligados a la textura y al contenido de materia orgánica en el suelo.

De acuerdo con esta clasificación, es evidente que no toda el agua es conveniente ni utilizable para el desarrollo de las plantas, por lo mismo se puede clasificar desde el punto de vista biológico como:

- Agua superflua, que es muy perjudicial a las plantas, pues obstruye la entrada de aire al suelo y muchos de los procesos químicos que se efectúan en él, quedan interrumpidos, se pierden los nutrientes y el suelo se espobrece.

- Agua asimilable, que es el punto en el cual, la cantidad de líquido que contiene el suelo, puede ser utilizado por la planta en su desarrollo.

- Agua no asimilable, que se refiere a aquella que debido a la gran tensión con que es fijada por las partículas del suelo, no permite su utilización por las raíces de las plantas.

Partiendo de esta clasificación del agua, se pueden esclarecer las dos principales constantes de humedad del suelo. La primera de ellas se refiere a la "capacidad de campo", definida como aquella cantidad de agua que es retenida por el suelo contra la gravedad, una vez que se deja drenar libremente. Este concepto no implica un valor único del suelo, puesto que algunos factores como el sistema dinámico de remoción de agua por drenaje, la evapotranspiración y el agua agregada por riego o por rocío, influyen en el equilibrio entre la cantidad propia de agua contenida y el campo de fuerza gravitacional. La

capacidad de campo es aquella parte del contenido de humedad del suelo en donde la velocidad de remoción de agua se va reduciendo después de una irrigación o lluvia fuerte.

La segunda constante se denomina "porcentaje de agostamiento" y se refiere al punto del agua del suelo, en el que las plantas se marchitan permanentemente. Al igual que en el caso anterior, no debe tomarse como un valor absoluto pues es un concepto dinámico en el que intervienen varios factores. Este incluye tanto a la cantidad de agua en el suelo, como a la velocidad con que el agua se dirige hacia las raíces de las plantas y considera no solo a la superficie del suelo, sino a toda la parte del suelo por la que se pueden desarrollar las raíces de las plantas.

### 3.3 Retención y liberación del agua en el suelo.

Tanto la capacidad de campo como el porcentaje de agostamiento, también llamado coeficiente de marchitez, están basados en la necesidad de las plantas de cubrir sus requerimientos hídricos, indispensables en su desarrollo, para lo cual grandes cantidades de agua deben ser almacenadas por el suelo, además, los nutrientes que la planta necesita, requieren del agua para disolverse y ser aprovechados por la vegetación. Por lo mismo es necesario conocer la capacidad de retención de agua por los suelos y con ello, la cantidad de agua que se libera constantemente de los mismos.

Dicha retención se ve afectada por varios factores, de entre los cuales destacan por su importancia: el movimiento de

la película de agua, tanto por la superficie, como por el interior del suelo; la capacidad de imbibición propia de cada tipo de suelo y la capacidad de asimilación de humedad por parte de las plantas. Estos tres factores tienen forzosamente que estar relacionados con el tamaño y distribución de los espacios porosos del suelo y con la fuerza de atracción que las partículas sólidas del suelo ejercen sobre la humedad.

La retención de la humedad en sí, está dada por la adherencia (atracción de superficies sólidas por moléculas de agua) y la cohesión (atracción entre las moléculas de agua). Estas fuerzas son las que mantienen el agua en el suelo y prácticamente controlan su movimiento y utilización. Para medir la fuerza de retención se utilizan unidades expresadas en términos de relación a la altura de una unidad de columna de agua cuyo peso será inversamente proporcional al de la tensión considerada, de manera que 10 cm. de altura ejercen una presión de 1/100 de atmósfera y otra de 100 cms. ejerce una presión 1/10 de atmósfera ( 10 y 100 milibares respectivamente).

Es evidente pues, que a menor cantidad de agua disponible en el suelo, la energía para que ésta fluya será mucho mayor y conforme se aumenta la cantidad de agua disponible en el suelo, la energía requerida para el flujo hidráulico es mucho menor.

Si bien es de suma importancia conocer los elementos que permiten la retención del agua por el suelo, también es de vital importancia saber como se pierde ésta, para lo cual existen dos formas básicas, la pérdida de vapor de agua y la



pérdida de agua líquida, que se efectúan por formas totalmente independientes.

La pérdida de vapor de agua se refiere a dos procesos distintos: la evaporación del agua en la superficie propia del suelo y la evapotranspiración que se lleva a cabo en la superficie de las hojas, toda vez que el agua absorbida por la planta, es llevada a éstas. No toda el agua precipitada llega directamente al suelo pues muchas es interceptada por el follaje de hojas, árboles y otros obstáculos propios del terreno; pero una vez que termina la precipitación y el agua deja de caer en la superficie del suelo, el calor solar inicia un proceso de evaporación que va más allá de la pura superficie, pues al agotarse el agua superficial y por capilaridad, el agua del interior se reparte, ocupando nuevamente las regiones superficiales. Esto hace evidente que los suelos de las regiones de climas secos tengan mucho mayor coeficiente de evaporación que las regiones húmedas, en donde la periodicidad de las precipitaciones, reduce considerablemente el ascenso capilar del agua de interior del suelo.

Sin embargo la evaporación propia del agua del suelo es responsable de la menor pérdida del líquido por los mismos, siendo entonces la evapotranspiración la principal causa de la pérdida del agua.

En dicho proceso hay varios factores que, siendo de gran importancia, dada su influencia directa en la liberación del agua del suelo, se enumerarán brevemente:

a) La energía de radiación, determinada por el sol y que determina en gran parte las condiciones de evaporación.

b) La presión de humedad atmosférica, dado que la energía de evapotranspiración depende de los niveles de saturación atmosféricos (gradiente de presión de vapor).

c) El viento que tiene la propiedad de reemplazar el aire húmedo por otro con mayor capacidad de humedad.

d) Las reservas de humedad del suelo, ya que al reducirse éstas, la tensión de retención por parte del suelo es mucho mayor, la planta por lo tanto reacciona a la escasez cerrando los estomas foliares e incluso con la marchitez.

A la acción combinada de la evaporación superficial y la transpiración, se le denomina "uso de consumo", que es la medida total del agua perdida por evapotranspiración en los diversos cultivos.

La pérdida de agua líquida se lleva a cabo por otros dos procesos: la percolación, movimiento descendente de agua libre en el suelo y el escurrimiento o desague superficial del exceso de agua en la superficie del suelo.

Durante la percolación se produce normalmente la pérdida de sales solubles del suelo (lixiviación) al grado de poder agotar totalmente los nutrientes de ciertos suelos y durante el

escurrimiento, el drenaje y percolación no existen, entonces la evapotranspiración es igual al almacenaje de agua en el suelo.

La utilización de esta fórmula permite entonces conocer cual es el contenido de agua en el suelo que puede ser aprovechado por las plantas.

### 3.2 Constantes de humedad en el suelo.

Las constantes de humedad se refieren a aquellos términos y conceptos que nos permiten describir los aspectos particulares de la permanencia de agua dentro del suelo, por lo que antes de abordarlos en forma directa es necesario clasificar física y biológicamente el papel que representa ésta.

A medida que la humedad del suelo aumenta o disminuye, la tensión con que es retenida por el suelo sufre una serie de cambios graduales. Tomando como patrón físico a estos cambios graduales, se puede clasificar el agua del suelo en tres grandes grupos:

El primero se refiere al agua libre, con la cual se llevan a cabo una serie de procesos como son:

a) El agua por encima de la capacidad de retención del terreno que queda libre al movimiento de escurrimiento (drenaje).

b) El agua retenida con bajos valores de tensión (0.1 a 0.5 atmósferas) que puede ser fácilmente desplazada.

primera es una zona de saturación, cuya profundidad máxima no sobrepasa los 5 cms. Una tercera zona es llamada de transición, en la que el intercambio de contenido hídrico es más reducido y que puede abarcar profundidades entre los 5 y los 30 cms. Es seguida por una zona de intercambio bastante rápido del contenido hidráulico y que se denomina frente de mojadura, misma que puede alcanzar profundidades de 35 a 45 cms, y por último está el margen de mojadura que representa el límite visible de la penetración de agua. ( Fig. 3.4.1.)

Zona de saturación 1.5 cm

Zona de transición 4.5 cm

Zona de transmisión  
(movimiento de agua causado  
por la gravedad)

Frente de mojadura

Suelo seco

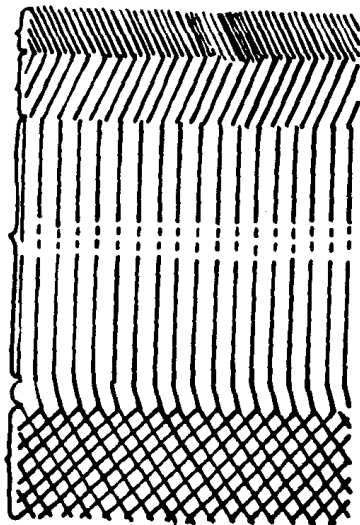


Diagrama de zonas en un suelo uniforme mojado desde arriba. Hay poco cambio en el contenido hídrico de arriba abajo de la zona de transmisión, aunque el agua se mueve por gravedad, pero un descenso muy abrupto en contenido hídrico y potencial hídrico en el frente de mojadura.

Fuente: Relaciones hídricas de suelos y plantas. P.J. Kramer.

A su vez, existen factores que afectan dicha infiltración y que su importancia radica en que se obstaculiza el reabastecimiento de agua para el suelo, favoreciendo el escurrimiento y por ende la erosión. Por enumerar algunos de ellos, se tienen: el contenido inicial de agua, la impermeabilidad de los estratos del suelo, características estructurales propias del suelo (espacio poroso y textura), la saturación por coloides hidratados, la duración de la lluvia y las temperaturas tanto del suelo como del agua.

Por consiguiente, el movimiento de agua dentro del suelo controla el coeficiente de infiltración, así como también la posibilidad de reabastecimiento de las raíces y el flujo de agua hacia manantiales, arroyos y ríos. Dicho flujo se lleva cabo a través de los espacios porosos en el suelo, a consecuencia de la gravedad, así como en las delgadas películas que rodean las partículas sólidas del suelo debido a la fuerte tensión superficial que poseen. El agua se desplaza también en forma de vapor a través de los espacios porosos llenos de aire debido a la presión decreciente de vapor.

El agua líquida se mueve dentro del suelo por dos formas esenciales; como flujo saturado en que la gravedad controla el gradiente de potencial hídrico y está basado en la ley de Darcy, que afirma que la cantidad de agua que pasa por una unidad de sección transversal de suelo es proporcional a la diferencia de carga hidráulica. En los flujos sin saturar, el gradiente de potencial hídrico está controlado por el potencial mátrico. A medida que descienden el contenido

hídrico y el potencial hídrico del suelo, la conductividad hidráulica se reduce muy rápidamente, cuando se rompe la continuidad de las películas en las partículas sólidas del suelo, el flujo líquido deja de producirse simultáneamente.

Si esto último se produce, el agua se moverá únicamente en forma de vapor, que aunque es lento se produce con la rapidez suficiente para abastecer en condiciones extremas, a la vegetación.

La temperatura del suelo varía grandemente de acuerdo a los cambios estacionales, siendo más elevada en verano y más fría en invierno, lo que tiene una importante relación con los estratos más profundos del suelo. Como producto de dichas variaciones térmicas, en el suelo se dan movimientos ascendentes del agua en invierno y movimientos descendentes en el verano. La cantidad de agua ascendente es muy importante cuando las capas superficiales del suelo pierden su contenido hídrico debido, tanto a las diferencias térmicas, como a la evaporación o la absorción por la cubierta vegetal, al grado de que dicho movimiento se efectúa desde mantos freáticos localizados hasta ocho o nueve metros de profundidad, y se considera que basta con que dicho manto freático se localice a un metro de profundidad, para que el movimiento ascendente suministre el agua necesaria para un cultivo.

#### **4. Tensión hidráulica y crecimiento de las plantas.**

Como se ha visto, la falta de recursos hídricos en las plantas reducen sus posibilidades de crecimiento, puesto que modifican y alteran los procesos fisiológicos de las mismas, ya que su relación con la tensión hidráulica es directa.

La tensión hidráulica es un factor de gran importancia, porque indica la capacidad de los tejidos vegetales y de las células en general, para alcanzar la turgencia, y cualquier variación de la misma indica las necesidades propias de la planta e incluso evita el llevar un plantío a su pérdida total por marchitez permanente, de manera que, esta tensión se produce cada vez que la pérdida de líquido por la evapotranspiración es mayor que el coeficiente de absorción, caracterizado por la reducción del contenido de agua, del potencial osmótico y por consiguiente del potencial hidráulico total de la planta.

Toda vez que estos índices se ven reducidos, se pierde la turgencia, las estomas se cierran dando lugar a un deficiente crecimiento; si esto es muy drástico, las funciones fotosintéticas se paralizan y la planta muere por desecación.

##### **4.1 Causas de la tensión hídrica en las plantas.**

Ya se ha determinado que la tensión se produce por la desigualdad entre la absorción y la evapotranspiración de la planta, pero esto no es tan sencillo como pudiera resultar si se aumenta agua o se cubre la planta para evitar la radiación. Es

necesario conocer si existe una pérdida excesiva de agua, o por el contrario, la función de absorción presenta obstáculos, además de que, en la mayoría de los casos, se presentan ambos problemas.

Por un lado, la transpiración está relacionada con la superficie y la estructura celular de las hojas, la apertura de los estomas y por factores que intervienen en el gradiente de presión del vapor entre el aire y la planta. Por otro lado se sabe que la absorción se ve afectada por el coeficiente mismo de pérdida de agua, por el nivel y grado de suberificación en los sistemas de raíces y necesariamente por la conductibilidad hidráulica del suelo. De manera que los procesos que controlan y dirigen estos factores se encuentran estrechamente relacionados entre sí y, sobretodo, perfectamente sincronizados.

Los obstáculos por los que el flujo hidráulico tiene que pasar para transportar el líquido del suelo a las hojas, se inicia desde el suelo mismo: las células parenquimatosas en las raíces y tallos forman otro tapón natural para el flujo, lo que ocasiona que, durante los periodos de mayor transpiración se produzca un déficit de abastecimiento, al grado que en las zonas o temporadas de mayor calor, el crecimiento de la planta se registra principalmente durante la noche, en que la humedad aumenta y la temperatura desciende, reduciéndose en forma considerable la pérdida por transpiración.

Sin embargo y a pesar de que la transpiración desproporcionada es causa importante en la tensión hidráulica, la principal causa se da en la inadecuada absorción que se



produce en suelos donde el contenido de agua es muy pobre, dado que la disponibilidad decreciente del agua del suelo impide el crecimiento aún cuando se encuentre en mayor medida antes del agostamiento. Es importante hacer notar que el crecimiento está entonces dependiendo de la tensión hidráulica de la planta y no en la tensión hídrica del suelo. De hecho, la tensión hidráulica en las plantas se produce cuando el índice de transpiración va en aumento durante el día y la tensión hídrica del suelo, hace tan lento el flujo de agua hacia las raíces, que el proceso de absorción va tornándose decreciente, produciéndose fuertes variaciones de potencial hidráulico entre las partes de la planta, de esta forma se inicia en el interior una fuerte competencia por el abastecimiento del preciado líquido.

#### 4.2 Efectos de la tensión hídrica en la planta.

Entre los principales efectos que ocasiona la tensión hídrica en los tejidos vegetales, se pueden citar entre otros: modificaciones en la anatomía, morfología, fisiología y bioquímica de la planta y en general en todos los aspectos de su crecimiento.

A nivel general se sabe que el principal síntoma de la tensión hídrica, es la falta de crecimiento en la planta, al grado de que con solo unos bares de modificación, produce un cambio en la estructura de las proteínas vegetales y con ello, una afección seria a las actividades enzimáticas, perturbando la delicada estructura de las células, y además, los alimentos

de la planta que siguen caminos metabólicos normales sufren desviaciones que se traducen en un desigual crecimiento de la estructura vegetal.

De manera que si el protoplasma celular se ve debilitado, se producen importantes cambios en el potencial osmótico de los tallos, afectando el recorrido de la savia por el interior. Así, el tamaño de la hoja, el tamaño de las células, y el general el volumen intercelular se reduce, mientras que, la pilosidad, la densidad de la nervadura, la frecuencia de los estomas y, de las hojas enteras, suelo ausentar. Es evidente entonces que el estado y comportamiento hídrico de las plantas se forma a través de las relaciones hídricas entre las células, de modo que si el ensanchamiento de estas, se ve reducido por el déficit de tensión hídrica, entonces las posibilidades de desarrollo en los vástagos y en las raíces mismas, se verán imposibilitados. De hecho se considera que la mayor parte de los efectos causados por la tensión hídrica, relacionados directamente con la pérdida de la turgencia, se deben a la deshidratación del protoplasma celular, ya que al retirarse el agua que circunda a las moléculas proteínicas, su viscosidad, permeabilidad e hidratación se ven bruscamente alteradas.

Al reducirse la tensión hídrica, la superficie foliar también se reduce, se produce el cierre de los estomas y en general toda la actividad de la maquinaria protoplásmica que se ha deshidratado, se van reduciendo, y por consiguiente, las actividades fotosintéticas de las hojas; además requiere de un

buen tiempo para que el protoplasma recobre su capacidad fotosintetizadora si ha sido deshidratado.

Otros efectos importantes de la función hídrica se relaciona con la resistencia de las plantas hacia la enfermedad, e incluso, respecto a algunas plagas e insectos. Esto se debe a que cuando la tensión hídrica decrece, las partes más afectadas se debilitan, permitiendo la creación de hongos, la horadación por insectos barrenadores y en general, una mayor tendencia a la propagación de enfermedades vegetales.

#### 4.3 Resistencia a la sequía.

Al periodo en que las plantas sobreviven a una tensión hídrica ambiental, se le puede llamar, de resistencia a la sequía. De hecho algunas plantas, helechos, musgos y líquenes, tienen un protoplasma que se puede deshidratar casi hasta el punto de aire seco, sin que se mueran, dado que su estructura no sufre daños permanentes. Sin embargo las plantas cultivadas, por lo general, tienen una menor resistencia, y para cuando la tensión hídrica llega a extremos, prácticamente la cosecha se ha perdido en su totalidad. A pesar de esto, la importancia de la tensión hídrica en los cultivos, se centra en el desarrollo y rendimiento que tienen y no en su supervivencia, puesto que las variaciones sufridas en forma mínima, como generalmente sucede, aporta pérdidas considerables en la rentabilidad de los cultivos comerciales, y como el mayor grado de resistencia a la sequía es resultado de sus características fisiológicas y

morfológicas, se encuentran tres tipos principales de resistencia que resultan infranqueables:

a) Ajuste de la estación de crecimiento. Esto se presenta en algunas plantas que viven en zonas o regiones donde el aporte de agua y los periodos de sequia, con un consabido aumento en la transpiración, son desproporcionados, provocando que la planta adapte su metabolismo para completar su ciclo vital antes de que se cree una grave tensión hídrica. Este ajuste se ve principalmente en plantas desérticas y semidesérticas, arbustos mediterráneos, o algunas plantas anuales de invierno.

b) Sistemas extensos de raíces. Este es uno de los sistemas más eficaces con que cuentan las plantas para sobrellevar los periodos de sequia, dado que un sistema profundo y bifurcado de raíces aumenta considerablemente la capacidad de absorción de las plantas, proporcionando condiciones ventajosas para la resistencia.

c) Control de la transpiración. Algunas especies de plantas tienen que adoptar otro sistema relacionado con el control de la transpiración, de manera que cuando se debe presentar la tensión hidráulica cierran los estomas o bien, pierden algunas hojas para reducir entonces, la superficie de transpiración. Ambas reacciones producen por consiguiente una

ESTA  
TRABAJO  
TESIS  
NO  
DEBE

importante reducción en la pérdida de líquidos y la planta puede sobrevivir por mayor tiempo.

Como se ha visto, la eficacia del uso del agua se da en términos de unidades de agua utilizada por unidad de materia producida, principalmente en donde podemos contar con un abastecimiento limitado de agua. En términos generales, se puede decir que por cada 200 a 500 unidades de agua, se obtiene a cambio una unidad de materia seca.

Algunos autores dicen que aquellas plantas sometidas a periodos moderados de tensión hídrica, resisten más que aquellas que casi nunca han pasado por este problema, y que estas plantas se encuentran "endurecidas", dado que generalmente son más resistentes. El endurecimiento puede deberse principalmente, a cambios protoplasmáticos que permiten una mayor viscosidad en las paredes celulares y con ello, una permeabilidad más reducida. Sin embargo se cree que más que cambios en el protoplasma, estos efectos son producidos por la propia tensión hídrica y la flexibilidad natural de ciertas paredes celulares en los tejidos vegetales.

#### 4.4 Labranza y riego para el crecimiento vegetal.

Si bien ya se sabe que las plantas, a pesar de lo maravilloso de su funcionamiento, padecen de enormes obstáculos para su desarrollo, crecimiento y, por supuesto, productividad, el hombre ha ido aprendiendo a través de sus experiencias, a sacarles el mayor provecho posible. Los principales métodos

para llevar esto a cabo son la labranza y el riego. Inútil sería querer formular aquí un manual de agricultura, además de no ser ese el objetivo del estudio, por lo que solo se pretende mencionar de que manera el hombre ayuda a las plantas a solventar sus problemas de desarrollo.

A las diferentes manipulaciones mecánicas del suelo, cuyo fin es el mantenerlo en las condiciones óptimas para el mejor desarrollo de los cultivos, se le denomina labranza.

Sin embargo no basta con manejar el suelo para que se desarrolle la agricultura, pues también dependerá del tipo de implementos que se utilicen y la intensidad con que sean empleados. La mayoría de los métodos que afectan el desarrollo y las propiedades físicas del suelo afectan también, indirectamente, la absorción de agua y el nutrimento de las plantas, por lo que es importante observar las relaciones dinámicas entre el suelo y la maquinaria empleada, (resistencia a la compresión, el esfuerzo cortante y el metal y su fricción contra el suelo).

En relación con estas prácticas se considera que, en zonas específicas varían con las condiciones del clima, el suelo y las prácticas del manejo del cultivo. La labranza excesiva por lo general agota los residuos vegetales, reduce la absorción de agua y deja la superficie del suelo más expuesta a los efectos de la erosión por viento y agua.

Es cierto que el uso de fertilizantes, insecticidas, mejores prácticas de labranza y otras técnicas han aumentado considerablemente el rendimiento de los cultivos, pero como se

ha visto, es el agua en óptima instancia la que determina el desarrollo de la agricultura. La lluvia es por consiguiente el principal aporte del vital líquido al suelo y de éste a las plantas, pero existen zonas en donde ésta no es suficiente o solo aparece en muy marcadas estaciones, por lo que el hombre se ha visto en la necesidad de aportar toda el agua que haga falta al crecimiento de las plantas por el sistema del riego.

El uso eficiente del agua está en función del suelo y depende, principalmente del regador y del método empleado, así como también de varios otros factores naturales y económicos, por lo que es necesario tomar en cuenta las necesidades naturales del propio cultivo. Para que la planta pueda aprovechar plenamente la humedad del suelo, tiene que ser capaz de extraer el agua con tal velocidad, que pueda soportar o igualar las pérdidas por transpiración y por su desarrollo mismo. Dados éstos elementos, el abastecimiento depende de la profundidad y distribución del sistema radicular, de su etapa de crecimiento y de la retención y conducción del agua del suelo.

Para determinar las carencias de agua en las plantas, frecuentemente se utilizan métodos visuales, es decir, que las reacciones de algunos cultivos comerciales son fácilmente detectables a simple vista, ya sea por el cambio de coloración de las hojas, el tamaño de los frutos, el crecimiento de las matas etc., pero se sabe que si se utilizan aparatos que pueden medir el potencial osmótico y la tensión hídrica en el sistema vascular, se tendrá conocimiento científico respecto a

las carencias de las plantas, de esta forma bastará con conocer las lecturas del potencial metrical (utilizando tensiómetros) y el conocimiento del valor de potencial bajo, de manera que se aporte la cantidad faltante necesaria.



## 5. CONCLUSIONES

La agricultura marca, pues, un parámetro en las civilizaciones. Sin embargo tiene un fuerte obstáculo dentro de la modernidad socio-económica ya que las nuevas tendencias de la economía parecen haberse olvidado en buena medida de ella y se inclinan cada vez más hacia la industria y los servicios. Basta con analizar los datos de las potencias más desarrolladas, como Estados Unidos, en el que solo el 3% del PIB proviene de la agricultura, contra un 34% de la industria y un 63% de los servicios. En la URSS, los porcentajes representan un 14%, 62% y 22% respectivamente; 3%, 47% y 50% para la Rep. Federal Alemana cuando era independiente, y 2%, 33%, y 65% para el Reino Unido. No obstante, se sabe que en estas naciones, la agricultura ha tenido un repunte espectacular dentro del modernismo tecnológico y si bien no han alcanzado la autosuficiencia alimentaria, sus políticas económicas y sus balanzas comerciales se han encargado de solucionar el problema.

México, inmerso en el mundo del subdesarrollo, depende mucho más de su agricultura que los países económicamente prósperos, pero por muy diversas y complejas razones que van desde lo cultural hasta lo llanamente político, el campo mexicano no goza de un desarrollo adecuado, además de que con el paso de los años se sigue rezagando. Durante muchos años se ha vendido la idea de que México tiene grandeza y variedad de recursos, y que difícilmente podrían agotarse, sin embargo, ahora se ha visto que está muy lejos de ser un edén, y que las

políticas económicas, los atrasos tecnológicos, los problemas culturales, las diferencias sociales y, lo que es peor, el desconocimiento científico-técnico de este país, va reduciendo cada vez más, el ya escaso desarrollo económico del país.

Cierto es que ya en la época prehispánica, los indígenas mexicanos conocían y utilizaban diversas técnicas, no solo de suelos sino de riegos, abonos, labranzas etc., que en sucho son envidiables para otros países, pero éstas se fueron olvidando (sobre todo en la época del colonialismo) y en gran medida por la falta de capital fresco al campo, que han terminado de desilusionar de tal manera al campesino, que los movimientos migratorios hacia las ciudades ya representan complejas problemáticas de otra índole.

Una de las partes que más ha sufrido con este descuido y abandono es el suelo fértil que todavía abunda en México, y el cual, por los malos empleos de labranza, la falta regular de agua y la explotación desmesurada, van haciendo que se rinda y terminará al fin por inutilizarse por completo.

Es evidente pues, que la planta por sí misma es incapaz de abastecerse de sus requerimientos alimenticios y que no basta con ahogarla en agua para que su desarrollo y productividad se vea garantizada. Por lo mismo, el suelo juega un papel vital en las relaciones entre las plantas, los cultivos y sus fuentes de abastecimiento. Las condiciones permanentes de humedad, son entonces un factor indispensable para su desarrollo, así como las necesidades de temperatura y los métodos apropiados de

labranza y riego , que forman en conjunto los mecanismos idóneos para el adecuado aprovechamiento de estos recursos.

De todo esto se pueden obtener las siguientes experiencias: Es muy importante conocer profundamente el comportamiento biológico de las especies que se desean aprovechar, pues entendiéndolo se conocen las principales carencias, necesidades y dolencias de cualquier cultivo. Se necesita también conocer las características y funciones del suelo sobre el que se trabaja, de manera que no se agoten sus capacidades y pueda aportársele, cuando el caso lo requiera, de los elementos perdidos que son indispensables en el cultivo. Pero como planta y suelo requieren para su relación de un catalizador, se debe conocer también la función del recurso agua ya que en la mayor parte de México, donde predomina el cultivo temporalero, se requiere llevar hasta el suelo mismo el agua en aquellos periodos en que la naturaleza no los provee en cantidades necesarias. Se requiere una profunda revisión de las políticas agrarias y de infraestructura hidráulica para evitar el consuetudinario adormecimiento del agro, ayudarle con créditos frescos y con una educación técnica adecuada, que a su vez requiere dotar al campesino con los instrumentos precisos tales que le den un conocimiento de los males y padecimientos internos de su cultivo, así como poner a su alcance los remedios necesarios para evitar que siga padeciendo una vida de carencias y sin posibilidades de desarrollo.

## BIBLIOGRAFIA

- AQUILERA y Martínez. Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera. UACH. México 1980.
- BUCKMAN y Brady. Naturaleza y propiedades de los suelos. UTEHA, México 1985.
- FOSTER, Albert B. Métodos aprobados en conservación de suelos. Trillas, México 1983.
- SAVANDE, Saspát A. Física de suelos. Limusa, México 1984.
- GUERRA, Santa Cruz y Grayzabal. Edafología General. Ed. Pueblo Nuevo, La Habana 1976.
- KRAMER, Paul J. Relaciones Hídricas de suelos y plantas. Edutexsa, México 1974.
- ODUM, E.P. Ecología. Ed. Interamericana, México 1987.
- PALERM, Angel. Agricultura y sociedad en Mesoamérica. SEP Setentas, México 1980.
- FRITCHETT, William L. Suelos Forestales. Ed. Limusa, México 1984.

**RAY, Peter N. La planta viviente. CECSA, México 1981.**

**REYES, C. Pedro. Historia de la agricultura. R.O.T. editor.  
México 1981.**

**WINTER, E.J. El agua, el suelo y la planta. Ed. Diana,  
México 1977.**



**FACULTAD DE GEOGRAFIA Y GEOLOGIA  
COLEGIO DE GEOGRAFIA**