

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE PREPARATORIA AGRÍCOLA
ÁREA DE AGRONOMÍA

Módulo V. El Manejo de los cultivos

CÁLCULO DE FÓRMULAS GENERALES DE FERTILIZACIÓN



Sistemas
de Producción
Agrícola

ELÍAS JAIME MATADAMAS ORTIZ

Sistemas de Producción Agrícola



Sistemas
de Producción
Agrícola

Modalidad a distancia

Elías Jaime Matadamas Ortiz

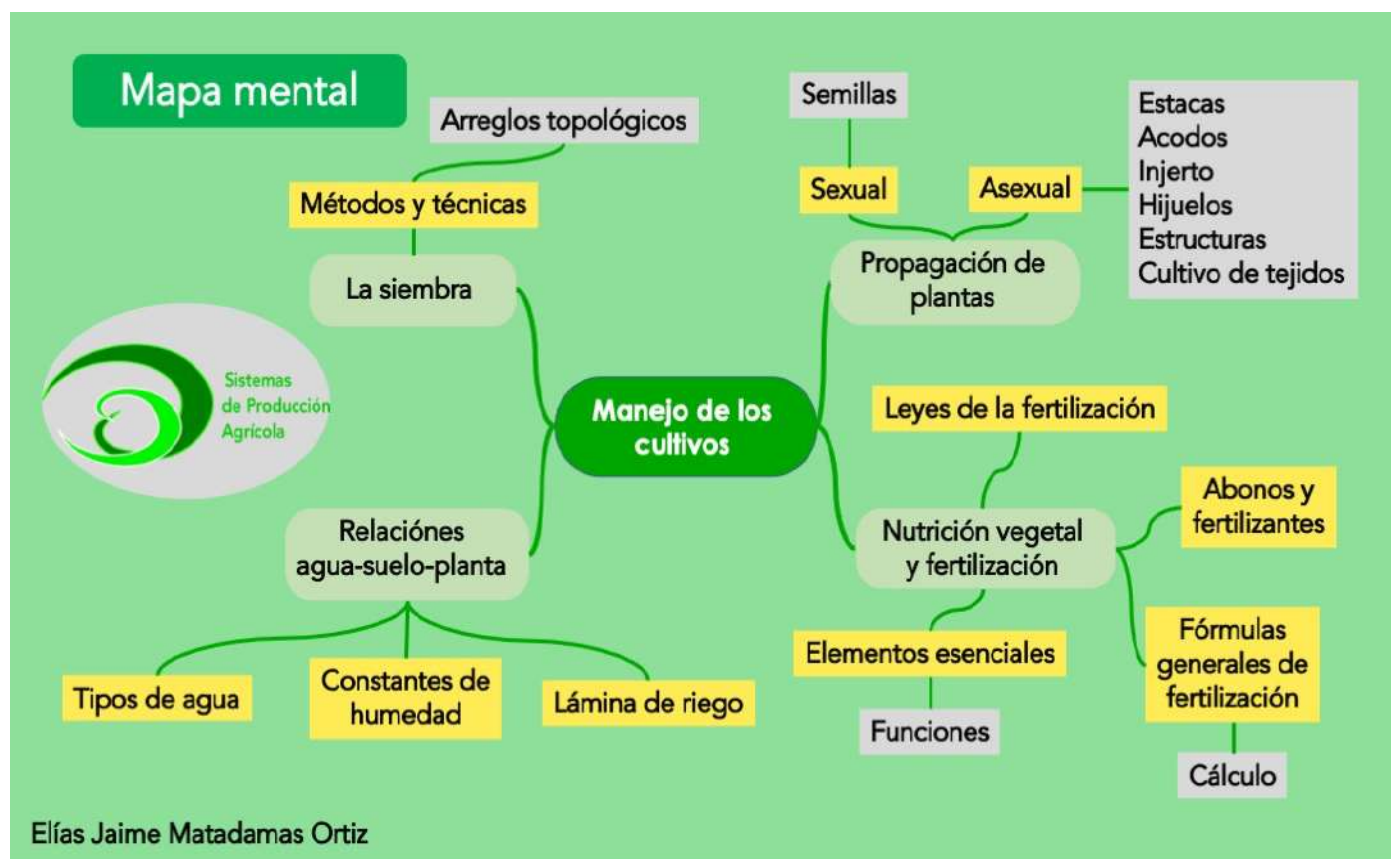
Objetivos

Ficha descriptiva del módulo V El manejo de los cultivos



- Estudiar los sistemas de propagación de plantas
- Abordar las técnicas generales de siembra
- Estudiar las relaciones Agua-Suelo-Planta y el Riego
- Estudiar las bases generales de la nutrición vegetal y la Fertilización

Contenidos temáticos	Presentaciones	Fichas temáticas	Lecturas temáticas
Propagación de plantas	Propagación de plantas	Propagación de plantas	
La siembra	La siembra sus métodos y técnicas	La siembra sus métodos y técnicas	Problemario de siembra y arreglos topológicos
El agua en el suelo y las plantas	El agua en el suelo y las plantas	El agua en el suelo y las plantas	Problemario de agua en el suelo y lámina de riego
Nutrición vegetal y fertilización	Nutrición vegetal y fertilización	Nutrición vegetal y fertilización	Manual para el cálculo de fórmulas generales de fertilización
	Cálculo de fórmulas generales de fertilización	Clase en línea	Manual para el cálculo de FGF



FICHA TEMÁTICA No.1. MÓDULO V. PROPAGACIÓN DE PLANTAS.

PROPAGACIÓN O MULTIPLICACIÓN DE PLANTAS.

La propagación de plantas es el proceso mediante el cual a partir de semillas o partes vegetativas obtenemos nuevas plantas, con las características deseadas, a fin de establecer nuevos cultivos. Existen dos tipos de propagación; **sexual y asexual**.

La propagación sexual implica la utilización de **semillas** para la multiplicación de las plantas, mientras que la propagación asexual consiste en la utilización de **partes vegetativas** para la obtención de plantas genéticamente idénticas a las plantas madre de las cuales se obtuvo el tejido propagado.

PROPAGACIÓN SEXUAL.

La multiplicación de las plantas por la vía sexual se realiza con la utilización de semillas que son órganos especializados que portan los embriones que darán origen a plantas que a su vez producirán nuevas semillas, y así sucesivamente.

CÉLULAS SOMÁTICAS Y CÉLULAS REPRODUCTIVAS.

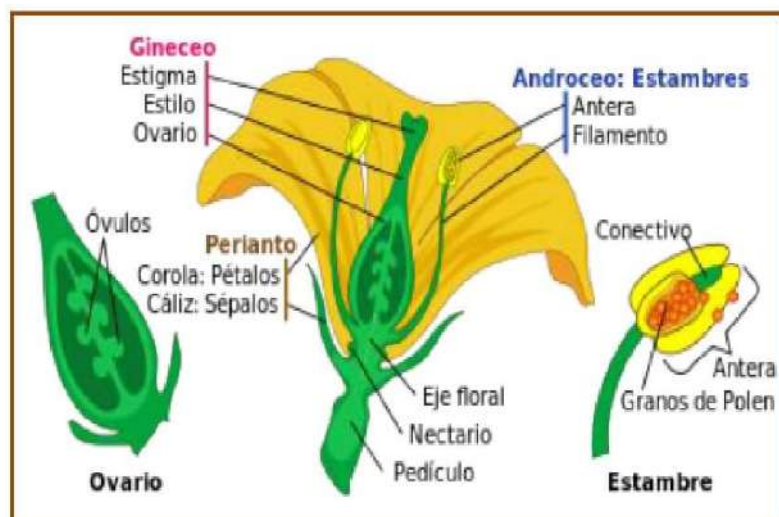
Los vegetales en todos sus órganos poseen células **somáticas** que se multiplican por **división mitótica**, es decir, una célula madre da origen a dos células hijas con el mismo número cromosómico de su progenitora; a excepción de los órganos sexuales (flores) que producen núcleos celulares **haploides** con la mitad del número de cromosomas y se dividen por **meiosis**, que consiste en que una célula madre da origen a cuatro núcleos haploides. Si esta división se realiza en las anteras (androceo), los núcleos estarán contenidos en los granos de polen, pero si se producen en el ovario (gineceo), estos núcleos se encontrarán dentro del saco embrionario.

EL CICLO DE LA REPRODUCCIÓN SEXUAL.

El ciclo de la reproducción sexual involucra a las flores que son los órganos sexuales de las plantas. Una semilla contiene en su interior al **embrión** que es una planta en potencia y al germinar se desarrolla consumiendo las reservas del endospermo y se convierte en una plántula con sus raíces y ramas bien diferenciadas. Esta plántula tiene una etapa de **crecimiento** acelerado (etapa vegetativa) la cual cesa y entonces sus células comienzan a diferenciarse en algunas partes de la planta para formar las flores a partir de sus yemas. Cuando una planta produce sus flores decimos que ha entrado a su **etapa reproductiva**.

Dependiendo del tipo de flor, al madurar los granos de polen y el estigma, se produce una transferencia de los primeros a los segundos, la cual se denomina **polinización**. La **fecundación** se produce como consecuencia de la polinización, y comienza la formación del **embrión** y las demás partes de la semilla. Un ciclo sexual se completa cuando a partir de una semilla se producen más semillas.

TIPOS DE FLORES Y COMPORTAMIENTO SEXUAL DE LAS PLANTAS.

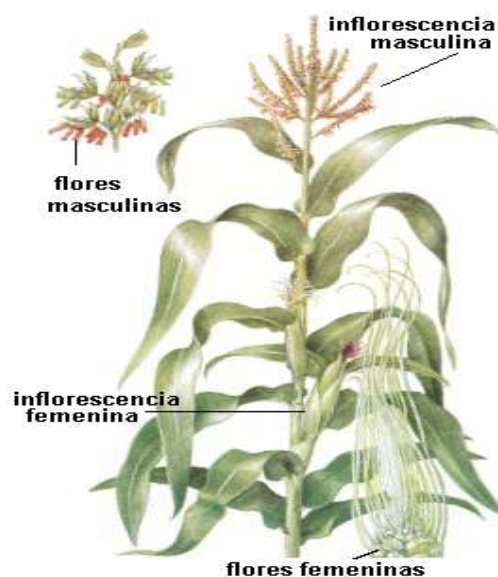


Las plantas, de acuerdo con su genética, pueden producir varios tipos de flores. Las **flores hermafroditas o perfectas** contienen los dos órganos sexuales, masculino y femenino. El **androceo** u órgano masculino (filamentos, anteras, granos de polen) y el **gineceo** u órgano femenino (estigma, estilo, y ovario) se encuentran en la misma flor, rodeados de la corola y del cáliz. Cuando una flor tiene todos

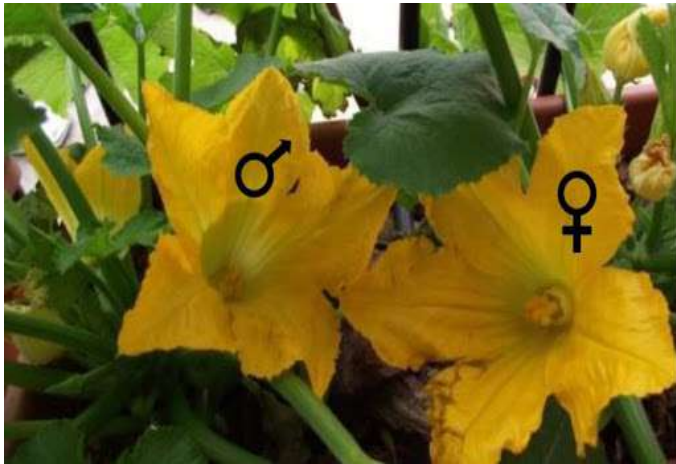
sus elementos florales, también se denomina, **flor completa**. En contraparte, las plantas pueden poseer flores que solo tienen órganos masculinos o femeninos, se les llama **flores unisexuadas o unisexuales**.

CLASES DE PLANTAS SEGÚN SUS TIPOS DE FLORES.

Las plantas **monoicas** tienen flores unisexuales masculinas y femeninas separadas en el mismo individuo. El maíz es una planta monoica porque posee flores masculinas y femeninas separadas; siendo la **espiga** la inflorescencia donde se encuentran las flores masculinas y el **jilote** porta las flores femeninas. En este caso, la **polinización** (transferencia de los granos de polen de las flores masculinas al estigma de las flores femeninas) no puede realizarse en la misma planta, ya que los granos de polen son tan ligeros que cualquier corriente se los lleva a los jilotes de otras plantas de maíz. Por lo anterior, el maíz presenta una **polinización cruzada**, es decir, los granos de polen de una planta



polinizarán los jilotes de otras plantas, y a su vez; otras plantas polinizarán a su jilote. Las plantas como el maíz que presentan un alto grado de polinización cruzada se les denomina, **plantas halógamas**. Como la polinización es favorecida por el viento, se dice que es una **polinización anemófila**, pero en casos donde la polinización cruzada sea favorecida por los insectos, se trata de una **polinización entomófila**.



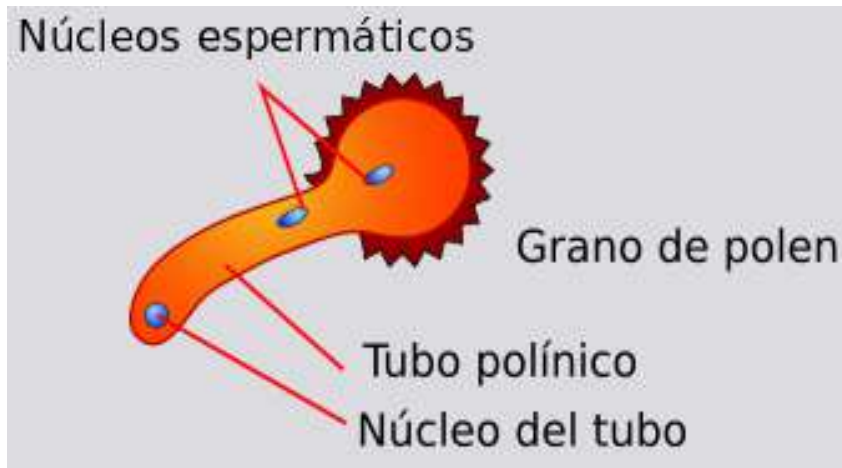
Las plantas de calabaza y de otras cucurbitáceas también son **plantas monoicas** ya que tienen flores masculinas y femeninas separadas en el mismo individuo. En este caso, los granos de polen son pesados para ser transportados por el viento, entonces la polinización se produce entre flores unisexuales de la misma planta con la intervención de insectos polinizadores, o sea, una polinización entomófila.

También existen plantas en que los individuos poseen flores perfectas o hermafroditas con los dos sexos en la misma estructura, y que exhiben un alto grado de **autopolinización**. Un ejemplo de planta con este tipo de flores es el **fríjol**. Tanto el fríjol y otras leguminosas, y también todas las especies con flores perfectas con alto porcentaje de autopolinización se les denomina, **plantas autógamas**. Cuando los pétalos de la flor abren, es posible que los estigmas hayan sido ya polinizados, aunque puede ocurrir también la polinización cruzada a un nivel poco importante. Las características genéticas de las poblaciones segregantes serán diferentes si se trata de plantas halógamas o autógamas.



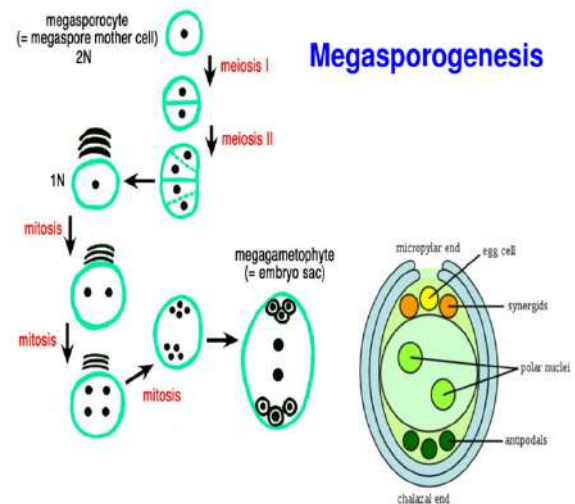
Las plantas del papayo (*Carica papaya* L.), poseen los tres tipos de flores, masculinas, femeninas y hermafroditas en distintos individuos. Es decir, hay plantas macho, plantas hembra y plantas hermafroditas, y solo estas dos últimas producen frutos. A este tipo de plantas se les llamas plantas **dioicas**. En estas especies se produce un alto porcentaje de polinización cruzada y es favorecida por los insectos polinizadores. En los huertos de papayos es necesario establecer un 5 al 8% de plantas masculinas para asegurar la polinización de las plantas femeninas. Las plantas con flores perfectas generalmente se autopolinizan.

NÚCLEOS ESPERMÁTICOS Y NÚCLEOS DEL SACO EMBRIONARIO.



Los granos de polen contienen cada uno, dos núcleos espermáticos y un núcleo del tubo polínico, que tienen diferentes roles en la fecundación. Dentro del saco embrionario existen ocho núcleos haploides, 3 antípodas, 2 sinérgidas, 1 núcleo del huevo y 2 núcleos polares.

El proceso de división meiótica de formación de los núcleos del saco embrionario se conoce con el nombre de **megasporogénesis** y el de la formación de los núcleos del grano de polen se le da el nombre de **megagametogénesis**. La mayoría de estos núcleos masculinos y femeninos serán importantes para la fecundación y el posterior desarrollo del cigoto o huevo y del embrión y del endospermo de la semilla. La semilla a su vez dará origen a una nueva planta con las características genéticas de los progenitores.



FECUNDACIÓN.

La fecundación es un complejo proceso que comienza con la maduración de los granos de polen, del estigma y de los núcleos del saco embrionario. Las tecas de las anteras se abren y liberan al ambiente una cantidad variable de granos de polen, mientras que el estigma del gineceo madura y se vuelve receptivo para los granos de polen. En estas condiciones se produce la **polinización**, o la transferencia del grano de polen al estigma. Después de la polinización, el núcleo del tubo polínico germina en el estigma y comienza a crecer abriéndose paso a través de los tejidos del estilo y de las paredes del saco embrionario hasta llegar a la base de éste y conectar con el **micrópilo** que es una abertura basal. En este momento, son liberados en el saco embrionario los dos núcleos espermáticos del grano de polen. De hecho, se efectúan dos eventos de fecundación simultáneamente (doble fertilización). El primero

consiste en la unión de un núcleo espermático y del núcleo del huevo del saco embrionario que da origen al huevo o cigoto (2N). El segundo, consiste en la unión del otro núcleo espermático y de los núcleos polares del saco embrionario y que da origen al endospermo (3N). El huevo o cigoto comienza a sufrir sucesivas divisiones mitóticas para dar lugar finalmente al embrión. También el primordio del endospermo comienza a dividirse y diferenciarse en un tejido que sirve de almacén de las reservas de la semilla. Las paredes del saco embrionario se convierten en el mesocarpio de los frutos, y sus paredes exteriores en la testa o cubierta de la semilla.

PARTES DE LA SEMILLA.

Invariablemente, las semillas poseen tres estructuras funcionales, el embrión, el endospermo y la cubierta seminal. El embrión es el producto de una de las fecundaciones y que lleva toda la información genética que codifica el desarrollo de una nueva planta. En palabras sencillas, el embrión es una planta en potencia. El endospermo es una estructura que almacena las reservas alimenticias que necesita el embrión para desarrollarse. Estas reservas están “empaquetadas” de tal forma que ocupan un mínimo espacio. La manera de lograr esto es en forma de moléculas “grandes” o polímeros. Los aminoácidos conforman proteínas de alto peso molecular; los azúcares fácilmente asimilables se agrupan en polisacáridos como el almidón y los ácidos grasos en cadenas complejas de aceites y grasas. La testa o cubierta seminal es una estructura que protege del ambiente a las estructuras internas de la semilla.

LA GERMINACIÓN DE LA SEMILLA.

La germinación de la semilla es el proceso por el cual el embrión se desarrolla en una nueva planta, bajo ciertas condiciones de la semilla y del medio ambiente. Este proceso lo podemos dividir en tres etapas; Activación, Digestión y translocación y Crecimiento de la plántula.

ACTIVACIÓN DE LA SEMILLA.

Esta primera etapa de la germinación se divide en tres fases; Imbibición, Síntesis de enzimas y Elongación de células y emergencia de la radícula.

IMBIBICIÓN.

La imbibición es un fenómeno físico por el cual la semilla pasa de un contenido de agua del orden de 12 a 16%, a hidratarse completamente para alcanzar un contenido entre un 80 a 90 %. Las membranas celulares de los tejidos que rodean al embrión inician un proceso de activación al hidratarse y la semilla recobra gradualmente su metabolismo. Para que se inicie

la activación de la semilla, es necesario que exista suficiente humedad en el suelo, ya que, sin agua, la semilla permanece en estado de latencia.

SÍNTESIS DE ENZIMAS.

Al arrancar el metabolismo de la semilla también se reactivan ciertas enzimas formadas durante el desarrollo de la semilla y se producen otras enzimas que tendrán un importante papel en la germinación. Las enzimas son proteínas que catalizan y hacen posible las reacciones químicas necesarias en este proceso.

ELONGACIÓN CELULAR Y EMERGENCIA DE LA RADÍCULA.

Las células de la parte basal del eje embrionario se hinchan y se alargan debido a la turgencia provocada por el alto contenido de agua. Este alargamiento (elongación) da la impresión de una pequeña raíz, llamada radícula que emerge del interior de la semilla.

DIGESTIÓN Y TRANSLOCACIÓN.

La digestión consiste en una serie de reacciones bioquímicas de desdoblamiento de las reservas contenidas en el endospermo de la semilla. Las proteínas se descomponen en sus unidades básicas que son los aminoácidos; el almidón se descompone en unidades simples de monosacáridos (principalmente glucosa) y los aceites y grasas se digieren a sus unidades estructurales que son los ácidos grasos. Estas reacciones de digestión o desdoblamiento se realizan gracias a las enzimas. Estas moléculas simples (aminoácidos, glucosa, ácidos grasos, etc.) resultantes de la digestión enzimática son el alimento del embrión para que evolucione a una nueva planta. El transporte de esas sustancias nutritivas del endospermo al embrión se le denomina también **translocación**. Cuando el embrión está suficientemente hidratado y con alimento a su disposición, comienza activamente **la división celular** y el crecimiento de los órganos de la plántula.

CRECIMIENTO DE LA PLÁNTULA.

En esta etapa observamos que el eje embrionario crece en dos direcciones; hacia arriba, en dirección a la atmósfera, la parte aérea de la planta, y hacia abajo, en dirección del centro de la Tierra, la parte subterránea de la planta. Hay una diferenciación clara entre el follaje y ramas y el sistema de raíces. Este crecimiento que experimenta la plántula es el resultado de la división mitótica de las células de sus meristemas.

EL EJE EMBRIONARIO.

Si al embrión lo vemos como una estructura alargada, podemos apreciar que está conectado con el endospermo de la semilla. En las semillas de plantas **monocotiledóneas**, el endospermo es una estructura única, mientras que, en las semillas de plantas **dicotiledóneas**, el endospermo se divide en dos partes llamadas **cotiledones**. En ambos casos, el endospermo exhibe un punto de conexión a lo largo del eje embrionario. La sección del eje embrionario comprendida entre ese punto de conexión y el meristemo apical se llama **epicótilo**, y la parte del eje embrionario entre el punto de unión y el meristemo radical se le denomina **hipocótilo**.

GERMINACIÓN EPÍGEA.

Una germinación epígea es aquella en la cual el punto de conexión del endospermo emerge del ras del suelo. Se identifica sin mayor complicación porque una parte de hipocótilo es visible sobre el suelo. Un ejemplo de este tipo de germinación la presentan las plántulas de frijol común.

GERMINACIÓN HIPOGEA.

En una germinación hipogea, el punto de conexión del endospermo con el eje embrionario se queda dentro del suelo. Todo el hipocótilo y una parte del epicótilo quedan enterrados en el suelo. Las plántulas de durazno presentan este tipo de germinación.

FACTORES AMBIENTALES QUE AFECTAN A LA GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS.

Si las semillas están en buen estado y no tienen problemas de dormancia, necesitan ciertas condiciones ambientales para poder germinar adecuadamente. Los factores que afectan la germinación de las semillas son: **Humedad, Temperatura, Oxígeno y Luz**.

HUMEDAD EN EL SUELO.

Para la germinación de las semillas, el suelo debe tener una cantidad adecuada de humedad. Si el suelo está saturado de agua, las semillas se asfixiarán y sus tejidos serán atacados por patógenos y, por otra parte, si el suelo no tiene suficiente agua, las semillas no iniciarán su activación y permanecerán latentes. El contenido óptimo de agua se logra agregando una cantidad de este líquido para que el suelo se mantenga a **Capacidad de campo (CC)**.

TEMPERATURA.

La temperatura del suelo a la cual las semillas germinan depende de la genética de las plantas y cubre un rango más o menos amplio de valores de temperatura. Este intervalo tiene un valor **máximo** y un valor **mínimo**, que serían los límites de temperatura con relación a la germinación. El valor máximo nos indica el límite superior al cual la semilla puede germinar, mientras que el valor mínimo nos indica el límite inferior de temperatura en el que la semilla puede germinar. Tanto en el límite superior, como en el inferior, la germinación de la semilla puede presentarse, pero a una velocidad muy baja, lo que significa que en esos límites una siembra tardaría muchos días en germinar. No obstante, existe **un valor óptimo de temperatura**, en el que la germinación alcanza su máxima tasa de velocidad, y es un valor más o menos generalizado que ronda los **25 a 27°C**.

OXÍGENO.

Durante el proceso de germinación, las semillas necesitan de una concentración adecuada de oxígeno en la atmósfera del suelo. Una concentración menor al 10%, reducirá la velocidad y el porcentaje de germinación. Unas pruebas de germinación en campo son necesarias para determinar las limitaciones de este gas.

LUZ.

La mayoría de las plantas cultivadas son indiferentes a la influencia de la luz en la germinación de sus semillas, sin embargo, cuando las semillas germinan en presencia de luz, las hormonas que promueven el crecimiento de las raíces, es decir, **las auxinas**, se degradan porque son **fotosensibles**, y es posible que el crecimiento del sistema radical de las plantas no se desarrolle adecuadamente.

FACTORES DE LA SEMILLA QUE AFECTAN SU GERMINACIÓN.

Existen condiciones propias de las semillas que afectan su germinación que deben ser tomadas en consideración. A continuación, enumeraremos algunas de esas condiciones:

ESTADO DE LA SEMILLA.

Es imprescindible que para que una semilla germine, el embrión se encuentre vivo. Semillas con muchos años de cosechadas o almacenadas en condiciones inadecuadas, pueden tener su embrión muerto. Cuando una semilla tiene el embrión vivo se dice que es viable. La **viabilidad de la semilla** se va perdiendo con el tiempo que transcurre después de su cosecha,

también si son almacenadas o conservadas en lugares húmedos y cálidos. La germinación también se verá afectada si las semillas están dañadas, rotas o enfermas, o cuando no se han desarrollado adecuadamente. Semillas con un endospermo muy pequeño y malformado no tendrá suficientes reservas alimenticias para poder germinar.

ESTADO DEL EMBRIÓN.

En ciertas especies, aunque las semillas aparentemente han alcanzado su maduración, el embrión debe madurar aún después de cosechadas. A esta condición se le llama **embriones inmaduros** que requieren una **postmaduración**. La mayoría de las semillas de los cultivos están aptas para germinar luego de su recolección, pero en estos casos de postmaduración, estas semillas deben de pasar un periodo después de su cosecha en determinadas condiciones para adquirir esa capacidad.

SUSTANCIAS INHIBIDORAS DE LA GERMINACIÓN.

Las semillas de jitomate o de papaya, dentro del fruto, se encuentran en condiciones de humedad que podrían ser óptimas para iniciar su germinación. De hecho, algunas de ellas es posible que se activen. Sin embargo, estas semillas están cubiertas de sustancias que inhiben su germinación. **Para poder sembrarlas es necesario lavar esas sustancias y después secar las semillas al sol.**

CUBIERTAS SEMINALES DURAS O IMPERMEABLES.

Existen semillas que poseen **cubiertas seminales duras** como es el caso del durazno. Esta testa impide que la semilla pueda tomar agua, porque no deja que se “hinche”, ya que la cavidad es muy estrecha. Es necesario romper, adelgazar o debilitar estas testas seminales por algún medio ya sea mecánico, físico o químico. A este proceso se le conoce con el nombre de **ESCARIFICACIÓN**. Por su parte, las semillas de manzana o peral poseen cubiertas seminales muy delgadas, pero son **impermeables al paso del agua**, que deben también ser escarificadas para permitir su posterior germinación.

DORMANCIA.

Las semillas están en un estado de **DORMANCIA** cuando no tienen capacidad para germinar, aún cuando estas están sanas; su embrión está vivo; no sufren algún fenómeno de postmaduración y no presentan testas duras o impermeables. Esta incapacidad para germinar puede estar provocada por diversos factores. De acuerdo con el tipo de factor la dormancia puede ser clasificada como, **ECODORMANCIA**, **PARADORMANCIA** y **ENDODORMANCIA**.

ECODORMANCIA.

La ecodormancia se define como la incapacidad de germinar de una semilla cuando es apta y está en buenas condiciones de sanidad, pero uno o más factores del medio ambiente como, **falta de humedad, temperaturas extremas, baja concentración de oxígeno o exceso de luz**, la impiden. Para romper o interrumpir la ecodormancia es suficiente con establecer condiciones ambientales óptimas.

PARADORMANCIA.

Las causas de la paradormancia pueden ser factores externos a la semilla o de la semilla, pero no atribuibles al embrión, ni a las condiciones ambientales. **Cáscaras o testas duras o impermeables y sustancias inhibidoras de germinación** son los motivos más frecuentes de la paradormancia semillas. La escarificación y el lavado son las medidas, según sea el caso, para romper este tipo de dormancia.

ENDODORMANCIA.

La endodormancia o dormancia endógena se presenta cuando el embrión de la semilla está vivo y maduro; su estado de sanidad general es adecuado, así como las condiciones ambientales son las óptimas, pero aún así no germina. Se han planteado varias teorías para explicar la endodormancia y la que más se acepta consiste en **un enfoque hormonal**. En los tejidos del embrión muy próximo a los meristemas de crecimiento se produce un balance entre las **fitohormonas inhibidoras de la germinación y las fitohormonas promotoras de la germinación**. Entre las primeras se cuenta al **ácido abscísico**, y las del segundo grupo a las **giberelinas y las citocininas**. Las yemas y semillas de plantas provenientes de regiones templadas y frías del planeta responden a un mecanismo interno de supervivencia que impide su germinación cuando las temperaturas son muy bajas, ya que las plántulas no sobrevivirían. Cuando las temperaturas vuelven a ser favorables (en primavera para el hemisferio Norte) las semillas recobran su capacidad para germinar. Este comportamiento se puede explicar por el balance de entre el ácido abscísico y las giberelinas y citocininas. Al final del otoño, el ácido abscísico comienza a aumentar rápidamente y la cantidad de giberelinas y citocininas inicia su disminución. A la llegada de la primavera, y con ella el aumento de la temperatura, este balance comienza a revertirse y la germinación puede darse cuando la cantidad de giberelinas y citocininas es mucho mayor que la cantidad de ácido abscísico.

Semillas de plantas cultivadas como **durazno, manzano, peral, almendro, uva, nogal, chabacano, ciruelo, nectarina** y otras especies forestales presentan el fenómeno de la endodormancia.

EL FRÍO Y LA INTERRUPCIÓN DE LA ENDODORMANCIA.

Con base a la teoría hormonal, a una semilla endodormante se le podrían adicionar **sustancias reguladoras del crecimiento** similares a las giberelinas y a las citocininas y así provocar su germinación en el momento que lo quisiéramos. No obstante, se ha observado desde hace muchos años que, si sometemos a las semillas a un **tratamiento con bajas temperaturas**, las semillas parecen romper el balance hormonal y este tratamiento provoca una interrupción de la endodormancia. A partir de estos conocimientos se ha visto que cada especie y variedad requieren de una cantidad específica de frío para interrumpir la endodormancia, es decir cada genotipo tiene sus requerimientos de frío.

HORA FRÍO.

Los estudios sobre el tema han concluido que para responder a los requerimientos de frío de cada especie y variedad era necesario establecer una medida precisa de frío. Así es como nace el concepto de **hora frío**.

Una hora frío (H.F.) es un periodo de tiempo de 60 minutos a una temperatura igual o menor a 7.0°C. Como ya se indicó anteriormente, las semillas de cada especie y variedad de plantas originarias de climas templados y fríos tienen un requerimiento de horas frío específico para romper su endodormancia y poder germinar.

ESCARIFICACIÓN.

La escarificación es un tratamiento que se les practica a las semillas que presentan el fenómeno de la endodormancia que consiste en **poner las semillas en un medio con alta humedad relativa y a temperaturas de 7.0°C o menores**. En las regiones situadas a altas latitudes y con climas fríos y con temperaturas invernales que oscilan entre los -5° y -40°C, basta con abrir una fosa en el suelo y colocar una capa de un sustrato que absorba humedad (arena o cualquier otro material) y sobre ella colocar una capa de semillas; luego colocar otra capa de sustrato húmedo, y así sucesivamente, hasta llenar la cavidad tapándola perfectamente con suelo. Las semillas pasan todo el periodo invernal en esta fosa de estratificación y se les saca hasta la llegada de la primavera para sembrarlas. En las condiciones de clima de México con inviernos no muy fríos, las semillas se deben poner a estratificar dentro de refrigeradores, investigando con antelación sus requerimientos de horas frío.

INTENTANDO GERMINAR SEMILLAS DE PLANTAS PROVENIENTES DE CLIMAS TEMPLADOS Y FRÍOS.

Las semillas de especies de plantas cultivadas como, durazno, manzano, peral, etc., para que germinen **necesariamente tienen que ser sometidas a tratamientos de ESCARIFICACIÓN y ESTRATIFICACIÓN.**

EMERGENCIA DE PLÁNTULAS.

Después de la germinación de las semillas, las plántulas resultantes ejercen una presión para salir del suelo. Los órganos aéreos son visibles y comienzan a fotosintetizar. Si las semillas se sembraron muy profundamente, con frecuencia habrá muchas plántulas que germinarán, pero no emergerán y nuestro cultivo presentará claros y falta de plantas. La profundidad de siembra está determinada por los siguientes factores:

- Tamaño y cantidad de reservas de la semilla.
- Textura del suelo.
- Estructura del suelo.
- Humedad del suelo.
- Intensidad de laboreo del suelo.

Para fines meramente prácticos se recomienda que la profundidad de siembra para semillas grandes como del maíz, frijol o soya, sea de 5 a 12 cm, y para semillas pequeñas como de jitomate, lechuga, cebolla, brócoli, etc., una profundidad de siembra entre 1 y 2 cm es la adecuada.

CICLO VEGETATIVO Y REPRODUCTIVO DE LAS PLANTAS.

El periodo comprendido desde la emergencia de las plántulas hasta cuando las plantas desarrolladas tienen frutos maduros con semillas viables se puede dividir en dos etapas:

- Desde la emergencia de plántulas a la aparición de las primeras flores se denomina **ciclo vegetativo**. Las plantas anuales presentan un color verde tierno y experimentan un aumento de longitud y grosor. Llega un momento en el que el crecimiento disminuye y se empiezan a formar las flores.
- A partir de la producción de flores, se establece que se inicia el **ciclo reproductivo** y se caracteriza por una marcada disminución del crecimiento y la formación de flores y la consecuente polinización, fecundación y desarrollo y maduración de frutos.

Frecuentemente, los ciclos vegetativo y reproductivo pueden ser subdivididos en **FASES FENOLÓGICAS**, dependiendo de los fenómenos de crecimiento y desarrollo que experimentan las especies vegetales. Para fines de estudios muy detallados, es posible que una fase fenológica sea subdividida, a su vez, en **ESTADÍOS**. Es el caso de la floración en los árboles frutales.

VENTAJAS DE LA PROPAGACIÓN SEXUAL.

La propagación sexual o por semilla presenta ventajas que podemos detallar a continuación:

1. **Se genera variabilidad genética.** Cada semilla dará origen a una planta con una constitución genética única, aunque provengan de la misma planta madre. El intercambio de genes en la fecundación es aleatorio, y por lo tanto cada individuo es diferente genéticamente hablando. Habrá mayor variabilidad en las plantas con polinización cruzada que en las plantas que se autofecundan, pero siempre habrá variabilidad. Esta variabilidad es muy útil en el mejoramiento genético de las plantas por lo que en ciertos casos representa un aspecto positivo.
2. **Las semillas ocupan poco espacio en su transporte y almacenamiento.** Las semillas son órganos vegetales fáciles de transportar y almacenar, ya que pesan poco y ocupan muy poco espacio.
3. **Poco peso de semillas pequeñas es suficiente para sembrar áreas grandes.** Para la obtención de un número de plantas de jitomate suficiente para un cultivo de una hectárea se requieren entre 150 a 200 gramos de semilla. Es lo mismo para especies como cebolla, brócoli, lechuga, coliflor, etc.
4. **Cada planta tiene una constitución genética específica y es diferente a las demás.** La obtención de plantas por medio de semillas produce individuos únicos, y algunos de ellos con características de interés agronómico que pueden ser aprovechados.
5. **El manejo y manipulación de semillas es fácil, simple, rápida y económica.** Frecuentemente el manejo y siembra de semillas no requiere de equipo especial y resulta fácil y económico.
6. **Garantiza una buena población de plantas.** Poco peso de semillas pequeñas nos brindarán una cantidad de plantas para obtener una buena densidad de población.

7. **Las semillas pueden conservar su viabilidad por muchos años.** Conservadas en espacios fríos y secos, las semillas pueden permanecer viables por largos periodos de tiempo.
8. **Producción de patrones francos.** Los portainjertos propagados a partir de semillas tienden a tener un vigoroso sistema de raíces, lo que garantiza un buen desarrollo de las variedades injertadas.

DESVENTAJAS DE LA PROPAGACIÓN SEXUAL.

La propagación sexual, en ciertas situaciones, puede presentar algunos inconvenientes:

1. **Pérdida de viabilidad.** Algunas especies producen semillas que rápidamente pierden su viabilidad después de que son cosechadas. Afortunadamente son pocas las especies que presentan tal fenómeno, y la gran mayoría de las semillas de plantas cultivadas son muy longevas.
2. **La variabilidad genética como desventaja.** En plantas hortícolas, frutícolas y florícolas la variabilidad genética se traduce en una heterogénea calidad de hortalizas, frutas y flores, así como una amplia temporada de cosecha. El mercado exige que estos productos agrícolas presenten una calidad uniforme en tamaño, color, grado de maduración, y esto solo se logra estableciendo un cultivo con plantas genéticamente iguales (clones o híbridos).
3. **Algunas semillas presentan dormancia y por lo tanto es necesario proporcionarles tratamientos pregerminativos.**
4. **Largo periodo juvenil.** Los árboles frutales propagados por semilla tienen ciclos vegetativos muy largos que varían de 8 hasta 20 años. Esto significa que estos árboles no producen fruta hasta que finalice este periodo de tiempo denominado **periodo juvenil**. Además de la entrada en producción tardía, son árboles de enorme porte o tamaño que producen una gran cantidad de frutos, pero muy pequeños. Es el caso de aguacates, mangos y nogales criollos.
5. **Patógenos en las semillas.** Las semillas pueden portar en sus tejidos inóculos de patógenos que después se desarrollarán y atacarán a las plántulas por lo que antes de sembrarlas se recomiendan realizar su desinfección.

6. **Almacenamiento de semillas.** Para que las semillas se mantengan viables por varios años es indispensable mantenerlas a bajas temperaturas y en espacios secos y ventilados.

PROPAGACIÓN ASEXUAL.

La propagación asexual o multiplicación vegetativa consiste en una serie de métodos y técnicas para la reproducción de plantas a partir de células y tejidos somáticos de partes vegetativas que pueden ser hojas, tallos, raíces, meristemos u órganos especializados que, bajo condiciones apropiadas, dan lugar a nuevos individuos iguales genéticamente.

Los métodos de propagación asexual más frecuentemente utilizados son:

- ESTACADO (tallo, raíz u hojas)
- ACODADO
- INJERTO
- ÓRGANOS ESPECIALIZADOS (estolones, hijuelos, bulbos, rizomas y tubérculos)
- PROPAGACIÓN *In vitro* o CULTIVO DE TEJIDOS

ESTACADO

Las estacas son porciones o secciones de tallos, raíces u hojas de plantas con capacidad de generar otras plantas cuando son colocadas en un sustrato o en el suelo y generan nuevos órganos para finalmente constituir otros individuos. Dependiendo de las especies existen estacas de tallo, raíz y hojas. El estacado aprovecha la capacidad de los tejidos con células meristemáticas, en condiciones húmedas y en ausencia de luz, de diferenciarse en raíces por la acción de las auxinas. Bajo estas condiciones, las estacas de tallo y de hojas formarán raíces en su parte basal que se coloca enterrada en el sustrato húmedo y sin luz, mientras que las estacas de raíz se enterrarán completamente y formarán un tallo que emergerá del sustrato.

ACODADO

En este método, una rama cuidadosamente seleccionada que se mantiene adherida a la planta madre se le provoca la generación de raíces adventicias al colocar una sección en condiciones húmedas y en ausencia de luz. Una yema de esa rama en condiciones normales puede dar lugar a hojas (yema vegetativa), pero en condiciones de oscuridad puede generar raíces.

INJERTO

El injerto consiste en la soldadura de dos o más partes vegetativas con genotipos diferentes. Así como los tejidos cicatrizan cuando sufrimos una herida, también los tallos de las plantas con crecimiento secundario poseen células en activo crecimiento (células del cambium) que pueden soldarse cuando las ponemos en íntimo contacto con otras células de otro tallo. El injerto se utiliza comúnmente en árboles frutales. El injerto consiste generalmente de dos partes:

- **Portainjerto o patrón.** Es la sección de una porción de tallo y raíces de un genotipo que presenta ciertas características convenientes de vigor, tolerancia a suelos calcáreos, resistencia a la salinidad o un sistema de raíces con grandes capacidades. Generalmente estos genotipos producen frutas de muy mala calidad sin valor comercial.
- **Variedad o vareta.** Es la porción aérea de un genotipo que produce fruta de buena calidad, pero su sistema de raíces no puede adaptarse a diversas condiciones extremas de suelo. Por ejemplo, la variedad de uvas 'Cabernet sauvignon' que se utiliza para la fabricación de vino tinto en todo el mundo, puede ser producida en diferentes tipos de suelo porque se injerta sobre diversos portainjertos, garantizando la producción de fruta con las mismas características.



Como se trata de una soldadura, las características genéticas heredables no se combinan entre el portainjerto y la variedad. Así, las características de las uvas de la variedad 'Cabernet sauvignon' siempre se mantendrán aún y cuando se injerten en varios portainjertos y en diferentes tipos de suelos en todo el mundo. Diferentes combinaciones entre portainjertos y variedades posibilitan la producción de fruta de

la calidad exigida por los consumidores en diferentes lugares.

Generalmente el injerto se practica con genotipos de la misma especie. Variedades de mango solo pueden injertarse sobre patrones o portainjertos de mango. Aunque se pueden presentar

algunas excepciones como por ejemplo podemos injertar: durazno/ciruelo, durazno/almendro y nectarina/durazno. En la familia de las Rutáceas a la que pertenecen los cítricos es posible realizar injertos interespecíficos.

ALGUNAS VENTAJAS DEL INJERTO.

La práctica del injerto nos brinda una serie de ventajas que enumeraremos a continuación:

- 1) Los árboles frutales injertados generalmente reducen su porte o tamaño y por lo tanto son más fácilmente manejados.
- 2) Los árboles frutales injertados reducen su periodo juvenil y entran en producción en un más corto tiempo.
- 3) Es posible cambiar de variedad cuando uno lo desee.
- 4) Si utilizamos portainjertos clonales (propagados por acodado) con un hábito de crecimiento enanizante pueden ser plantados en altas densidades en huertos intensivos.
- 5) Las características heredables de la fruta se mantienen constantes e invariables en un huerto a otro.
- 6) Es posible producir diferentes variedades en un huerto.
- 7) Es posible producir frutos sin semilla.

Existen diferentes tipos de injerto que se adaptan a las especies:

- **Injerto de yema:** Naranja, limón, durazno, vid ("Chip budding").
- **Injerto de púa:** Manzana, peral, ciruelo.
- **Injerto de enchapado lateral:** Aguacate y mango.
- **Injerto de corona:** Olivo y nogal pecanero.

PROPAGACIÓN POR ESTRUCTURAS ESPECIALIZADAS.

Las plantas poseen estructuras especializadas con yemas que pueden dar lugar a nuevas plantas, si las colocamos en un medio apropiado, como, **rizomas, estolones, bulbos, cormos, tubérculos e hijuelos**. Estos últimos los producen plantas como, piña, sábila, magueyes y

plantas de plátano alrededor de las plantas madre. Si estos hijuelos los extraemos del suelo y los plantamos en otro lugar darán lugar a nuevas plantas, y éstas a otros hijuelos.

CULTIVO DE TEJIDOS *In vitro*.

La propagación por cultivo de tejidos vegetales es una metodología que se emplea cuando queremos reproducir un número muy grande de plantas iguales genéticamente. Consiste en varios pasos:

1. Seleccionar el genotipo que queremos propagar.
2. Cortar un pequeño explante de unos 1 a 2 cm de longitud del meristemo apical que contiene células en activo crecimiento e indiferenciadas.
3. Esterilizar la superficie del tejido del explante.
4. Colocar el explante esterilizado sobre un medio nutritivo en agar dentro de un matraz o tubo de ensayo.
5. Después de algunos días, las células del explante se dividirán rápidamente formando una masa de tejido llamada "callo".
6. Fraccionar la masa de callo en numerosas y pequeñísimas fracciones y cada una de estas se coloca en un nuevo recipiente con sustancias nutritivas y hormonas vegetales para que se inicie la diferenciación celular y formen hojitas y raíces.
7. Pasar las plántulas a un invernadero para que se vayan adaptando a condiciones fuera del laboratorio.
8. Pasar las pequeñas plantas al suelo.

VENTAJAS DE LA PROPAGACIÓN ASEXUAL.

La propagación asexual o vegetativa presenta muchas ventajas, como:

- Las poblaciones de plantas tienen uniformidad genética y por lo tanto la calidad de los productos agrícolas es también uniforme.
- Las plantas reducen su periodo juvenil y entran en producción más rápido.
- Es posible propagar cultivares partenocárpicas que no producen semillas (uvas, naranjas y limones).
- Es posible propagar especies que no producen semilla (plátano y piña).
- Es posible propagar un número muy grande de plantas a partir de una cantidad mínima de tejido vegetal.
- Es posible producir plantas libres de virus.
- Se acelera la propagación de especies en las que sus semillas tienen poco poder germinativo o de crecimiento muy lento (cactáceas).

- Es posible propagar especies silvestres en peligro de extinción de interés económico (magueyes mezcaleros de Oaxaca).
- La obtención de plantas se hace en menos tiempo.

DESVENTAJAS DE LA PROPAGACIÓN ASEXUAL.

No obstante, sus múltiples ventajas, la propagación asexual puede presentar algunos inconvenientes:

- En algunas especies se requiere de una gran cantidad de material vegetativo para el establecimiento de un cultivo (caña de azúcar).
- Las plantas pueden experimentar cambios morfológicos y fisiológicos asociados con la edad (quimeras y mutaciones).
- Los sistemas radicales en plantas propagadas por estacado de tallo son superficiales y poco eficientes en la absorción de agua y nutrientes.
- Se requiere de mano de obra altamente calificada.
- En muchos casos, se requiere de materiales, equipo e infraestructura de propagación de importación (sustratos, contenedores, nebulizadores, herramientas, cintas, etc.).

Comentarios:

FICHA TEMÁTICA No. 2. MÓDULO V. LA SIEMBRA.

La siembra es la operación que consiste en la colocación de las semillas en el suelo o en algún contenedor con sustrato para que germinen y se desarrollen las plantas apropiadamente. Esta se realiza en estructuras que se elaboran con implementos agrícolas en la superficie del suelo que pueden ser: **surcos, camas y melgas**.

Surcos. El maíz, frijol, sorgo, soya se siembran a lo largo de surcos, en triple, doble o hilera sencilla.

Camas. La calabaza, melón, sandía o fresa se siembra sobre las camas, con el fin de que los frutos no entren en contacto con el suelo húmedo.

Melgas. La alfalfa, trigo, cebada, arroz y avena se siembran sobre melgas.

DENSIDAD DE POBLACIÓN.

La densidad de población (DP) es el número óptimo de plantas por hectárea (10,000 m²) de cultivo, con la que se reduce al mínimo la competencia entre ellas y se producen los máximos rendimientos. Para determinar la densidad de población (DP) en **siembras mateadas**, necesitamos considerar tanto **la distancia entre plantas (dp)**, como **la distancia entre hileras (dh)**, utilizando la siguiente fórmula:

$$DP = \frac{10000}{(dp)(dh)}$$

La densidad de población está determinada por los siguientes factores:

- **Vigor de las plantas del cultivo.** El tamaño y porte de la parte aérea de las plantas es determinante para considerar el distanciamiento entre plantas y entre hileras de plantas. A mayor porte, es mayor el distanciamiento.
- **Hábito de crecimiento.** Hay plantas con diferentes hábitos de crecimiento. Por ejemplo, en el frijol existen variedades con hábitos de crecimiento **determinado, semideterminado e indeterminado**. Es decir, plantas de frijol de mata, de semiguía y de guía. Cada variedad necesita de un espacio muy específico, por lo que su espaciamiento será diferente.
- **Rendimiento por planta.** Para establecer una densidad de población óptima es también importante considerar la máxima cantidad de producto de interés económico por

planta relacionado con el espacio que necesita. Se requieren realizar ensayos de producción en condiciones óptimas.

- **Propósito del cultivo.** La densidad de población varía de acuerdo con el objetivo de producción del cultivo. En siembras de maíz híbrido de riego cuando el objetivo de producción es el grano, una densidad de población de 105,000 plantas/ha es adecuada, mientras que si el objetivo es la producción de forraje la densidad de población adecuada será de 120,000 plantas/ha.
- **Fertilidad del suelo.** Los suelos fértiles soportan una densidad de población mayor que los suelos con una fertilidad media o baja. Un análisis de las características químicas es necesario para saber el grado de fertilidad y plantear un programa de fertilización del cultivo.
- **La precipitación total anual (PTA) y su distribución.** La cantidad total de lluvia durante el ciclo biológico del cultivo y su coincidencia con sus etapas críticas es determinante para establecimiento de la densidad de población. Temporales escasos en lluvias con precipitaciones menores de 800 mm en cultivos de maíz, se tienen que implementar una serie de estrategias entre las que podemos mencionar el establecimiento de variedades o razas de ciclo corto (precoces) y una densidad de población menores de 30,000 plantas/ha.
- **Disponibilidad de riego.** Las densidades de población son mayores cuando contamos con riego comparadas con las de las siembras de temporal. Sin embargo, las densidades de población también pueden variar de acuerdo con el clima y con el número de riegos y la lámina de riego.

DENSIDAD DE SIEMBRA.

La densidad de siembra (DS) es la cantidad de semilla agronómica que se utiliza para obtener la densidad de población deseada. La densidad de siembra está estrechamente relacionada con las características de calidad del material de siembra. En el caso de las semillas estas características son:

- **Peso específico de las semillas.** El peso de una semilla, o de 100 semillas, es una información fundamental para determinar la densidad de siembra de un cultivo. El peso específico de las semillas difiere grandemente en las variedades de una especie agrícola. El principio teórico es que una semilla dará origen a una planta, pero en la realidad existen otros factores a considerar.

- **Porcentaje de humedad de las semillas.** El peso de un lote de semillas para la siembra variará con el contenido de agua en las semillas. El porcentaje de humedad apropiado para el manejo y almacenamiento de las semillas para la siembra va de 12 al 14%. Todos los análisis a las semillas deben de considerar estos valores.
- **Porcentaje de pureza de las semillas.** En los lotes de semillas muy pequeñas es posible que existan materiales extraños como paja, fragmentos de suelo, residuos del cultivo, etc., que, aunque se practican procesos de limpieza mecanizados, siempre puede filtrarse material extraño. Por lo anterior, es imprescindible realizar una prueba de pureza de las semillas y considerar el resultado para calcular la densidad de siembra.
- **Porcentaje de viabilidad de las semillas.** Se considera que una semilla es viable cuando su embrión está vivo y es susceptible de germinar y dar lugar a una plántula. Una prueba con el reactivo de cloruro de tetrazolio nos brindará este importante dato y nos indica un aproximado de cuantas semillas podrán germinar de una cierta cantidad inicial.
- **Porcentaje de germinación en laboratorio.** Al hacer una prueba de germinación en condiciones de laboratorio contaremos con la información de la capacidad germinativa de la semilla en condiciones controladas.
- **Porcentaje de germinación en condiciones reales de campo.** Este ensayo es necesario cuando queremos afinar la densidad de siembra en condiciones reales. Es posible que los resultados de esta prueba nos indiquen la necesidad de modificar las técnicas de labranza de preparación del terreno.

En la práctica, toda esta información la podemos conjuntar para determinar la densidad de siembra con mucha antelación y así estar en condiciones de planificar un cultivo de manera técnica. A continuación, haremos un ensayo teórico de lo que acabamos de ver.

EJERCICIO No. 1.

El peso específico de 100 semillas de frijol de la variedad "Negro Chapingo" es de 16 gramos y nos recomiendan que el distanciamiento entre hileras (surcos) sea de 0.80 m y el distanciamiento entre plantas sea de 5.0 cm. El lote de semillas tiene un porcentaje de pureza del 97%; el porcentaje de viabilidad es de 96%; el porcentaje de germinación promedio es de 95%. Calcular la densidad de población y la densidad de siembra, considerando los valores de calidad de la semilla.

1. En principio necesitamos calcular la densidad de población (DP) y sustituyendo en la fórmula tenemos:

$$DP = \frac{10\,000}{(0.8)(0.05)} = 250,000 \text{ p/ha}$$

Teóricamente necesitamos 250,000 semillas, suponiendo que cada semilla producirá una planta.

2. En segundo lugar, vamos a calcular la densidad de siembra preliminar (DSP) con la siguiente fórmula:

$$DSP = \frac{(250,000)(0.016)}{100} = 40 \text{ Kg/ha}$$

La densidad de siembra preliminar es de 40 Kg de semilla de frijol por hectárea sin considerar la calidad de la semilla.

3. Considerando la calidad de la semilla, procedemos a calcular la densidad de siembra final (DS) a partir de la siguiente fórmula:

$$DS = \frac{DSP}{(\% \text{ PUREZA})(\% \text{ VIABILIDAD})(\% \text{ GERMINACIÓN})}$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$DS = \frac{40}{(0.97)(0.96)(0.95)} = 45.216 \text{ Kg/ha}$$

Necesitaremos compensar 5.216 Kg de semilla por la calidad de la semilla.

ÉPOCA DE SIEMBRA.

Las especies agrícolas se adaptan bien a condiciones ambientales determinadas a lo largo del año. El maíz, frijol, sorgo, soya, caña de azúcar, calabaza, sandía, melón, etc., son cultivos cuya siembra debe ser en primavera. Los cereales como, trigo, cebada, alpiste y triticale son cultivos de otoño. Los cultivos hortícolas como lechuga, cebolla, zanahoria, brocolí y coliflor se producen bien con cierta influencia a las temperaturas entre 16 y 20°C, aunque puede haber variedades que no responden a este estímulo. Los cultivos de invierno como alfalfa, avena o haba se estimulan con temperaturas relativamente bajas.

FECHA DE SIEMBRA.

Los servicios de agricultura del Gobierno Federal (SADER) y los Centros de investigación agrícola (INIFAP) frecuentemente publican las fechas de siembra técnicamente recomendables para cada cultivo y zona agrícola del país. Fuera de estas fechas recomendadas se corre el riesgo de efectos negativos de ataques de plagas, enfermedades, malezas, heladas, granizadas o vientos fuertes.

TIPOS DE SIEMBRA.

Existen variadas clasificaciones técnicas de las siembras, y en este apartado mencionaremos algunos tipos.

TIPOS DE SIEMBRA POR RÉGIMEN DE HUMEDAD.

1. **Siembras de temporal.** El suministro de agua al cultivo es solamente de la lluvia. En la mayor parte del territorio nacional, los productores agrícolas esperan a que se produzcan dos o tres lluvias para aprestarse a sembrar. Por lo general, estas siembras se hacen a partir de la segunda quincena de mayo hasta principios de julio, considerando que el periodo estival (sequía) se presenta entre marzo y abril.
2. **Siembras de jugo o de humedad residual.** En ciertas zonas de nuestro país se conjugan dos condiciones que permiten este tipo de siembras. El primero tiene relación con la presencia de lluvia de otoño e invierno, en los meses de octubre a enero; y el segundo con la capacidad de los suelos de almacenar gran parte de esa humedad. El contenido de agua en el suelo puede ser suficiente para cubrir los requerimientos del cultivo.
3. **Siembras de punta de riego.** Son siembras que se adelantan al temporal y se realizan en el mes de abril y los primeros días de mayo. Se les llama de “punta de riego” porque solo se aplica el **primer riego de siembra** y después se deja a las lluvias del temporal. Las ventajas de las siembras de punta de riego con relación a las de temporal, es que se asegura la germinación y emergencia de plántulas, y que se utilizan variedades tardías (de ciclo largo) que pueden ser más rendidoras que las variedades precoces o de ciclo corto.
4. **Siembras de medio riego.** Es el caso de siembras de maíz más adelantadas que las siembras de punta de riego, ya que se realizan durante la primera semana del mes de marzo, y donde se aplican dos riegos; **el primer riego de siembra y un riego de auxilio**. Después se deja al temporal para completar su requerimiento de agua. Este tipo de

siembras se recomiendan en zonas con riego restringido y para asegurar rendimientos de medios a moderados.

5. **Siembras de riego.** Son siembras que se recomiendan en lugares con agua de riego y sin problemas de heladas tardías, o donde definitivamente el temporal es escaso y errático. Para el caso del maíz se recomienda la utilización de híbridos rendidores y se aplican tres riegos: **el primer riego de siembra y tres riegos de auxilio.**

TIPOS DE SIEMBRA DE ACUERDO CON LA DISTRIBUCIÓN DE LAS SEMILLAS SOBRE EL TERRENO.

1. **Siembras mateadas.** Son siembras que generalmente se realizan sobre surcos o camas, y pueden ser a hilera sencilla o doble, hasta triple, hilera. Sobre el lomo, o en los taludes del surco se distribuyen los sitios donde se deposita una o más semillas. A cada sitio se le llama mata. Las matas se siembran a una distancia regular entre ellas, y cada surco tiene su propio espaciamiento, por lo que podemos fácilmente reconocer **las distancias entre plantas (matas) y entre surcos.** Con los datos anteriores podemos hacer el cálculo de la densidad de población. **Maíz, frijol, sorgo, lechuga, etc.**
2. **Siembras a chorrillo.** Se trazan líneas sobre surcos, camas o melgas, y se siembran las semillas en forma continua, a modo de un "chorrillo", lo que produce un dosel de plantas muy juntas. Las sembradoras mecánicas de cereales trazan sus líneas con la ayuda de pequeños discos y depositan las semillas muy juntas. Cuando las plantas crecen y "amacoyan" (producen varios tallos a partir de una planta), se logra cubrir todo el terreno. **Zanahoria, trigo, cebada, etc.**
3. **Siembras al voleo.** Se distribuyen las semillas de forma aleatoria tratando de distribuirlas sobre el terreno de manera uniforme. **Alfalfa, avena, etc.**

TIPOS DE SIEMBRA DE ACUERDO CON EL EQUIPO CON LA QUE SE REALIZA.

1. **Siembras manuales.** Las siembras manuales se realizan con la ayuda de herramientas manuales, con tiro animal o pequeñas maquinas sembradoras. Manualmente se pueden hacer siembras mateadas, a chorrillo y al voleo.
2. **Siembras mecanizadas.** Las siembras mecanizadas se realizan con la ayuda de equipos e implementos especializados o sembradoras mecánicas. Las hay de diferentes tipos, como convencionales y de conservación. También se hacen siembras aéreas con

avionetas. Existen sembradoras que realizan la siembra mateada de precisión, sembradoras al voleo y sembradoras a chorrillo para cereales pequeños.

SIEMBRAS DIRECTAS O DE TRASPLANTE.

En la mayoría de los cultivos anuales, la siembra se hace directamente en el terreno definitivo (maíz, frijol, sorgo, trigo, alfalfa, etc.). Sin embargo, hay casos en los que la siembra se realiza en **semilleros o almácigos, charolas, contenedores y macetas**, y cuando las plántulas han alcanzado un determinado crecimiento se trasplantan al terreno definitivo. Con los árboles forestales y árboles frutales se hacen siembras indirectas, y es en los cultivos de hortalizas que puede haber especies de siembra directa y otras de trasplante. **El jitomate, lechuga, brócoli, coliflor, cebolla (de bola), chile**, son ejemplos en los cuales se practica la siembra de trasplante. Especies de hortalizas como, **rábano, zanahoria, betabel, calabaza y cebolla cambray**, son ejemplos de siembra directa.

SIEMBRA DE ESPECIES FRUTALES.

Cuando los árboles frutales se propagan sexualmente se utiliza el método de siembra indirecta o de trasplante, aunque con algunas variantes técnicas con relación a la siembra de hortalizas. Las semillas se extraen de los frutos maduros, se desinfectan y se les practica algún tratamiento si es necesario (escarificación, estratificación, cortes de candado, etc.) para luego sembrarlas en semilleros, charolas, contenedores o macetas de plástico pequeñas. Cuando las plántulas han alcanzado cierto tamaño se pasan a bolsas de plástico negras, las que se ponen bajo malla sombra para que al alcanzar el desarrollo óptimo se procede a injertarlas. Las macetas se mudan a viveros bajo cubiertas plásticas para controlar su estado sanitario y el riego. Cuando los arbolitos alcanzan en desarrollo adecuado se plantan en el terreno del futuro huerto, previamente trazado y con cepas abiertas.

ARREGLOS TOPOLÓGICOS PARA LOS HUERTOS FRUTÍCOLAS.

Los huertos frutícolas debidamente planificados deben de tener una distribución uniforme y regular sobre el terreno, a fin de que los árboles tengan un propio espacio. Existen varias formas de distribución de los árboles sobre el terreno, llamados, **arreglos topológicos**.

MARCO REAL.

Los huertos deben ser trazados con antelación a la plantación de los arbolitos. En un arreglo en marco real, el trazo debe marcar exactamente donde se plantará cada árbol y al final podemos identificar líneas o hileras que tienen la misma distancia. La distancia entre árboles

de una misma hilera (**da**) es la misma que la distancia entre las hileras (**dh**). Otra forma de distinguir el arreglo en marco real es que cuatro árboles forman un cuadrado perfecto. Con los árboles frutales de gran porte, el espaciamiento entre árboles y entre hileras será mayor que cuando se trata de árboles de porte más pequeño, pero la distribución será la misma. Podemos calcular la densidad de población (DP) en el arreglo topológico en marco real con la siguiente fórmula:

$$DP = \frac{10\,000}{(da)^2}$$

Ejercicio. Calcular la densidad de población (DP) de un huerto de guayabos con una distancia entre árboles (**da**) de 7 m y una distancia entre hileras (**dh**) de 7 m. Como la **da** y la **dh** es la misma (**da = dh**), se puede decir también, un **arreglo o diseño marco real a 7 m**.

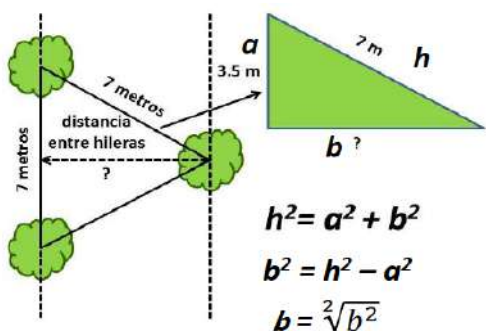
$$DP = \frac{10\,000}{(7)^2} = 204 \text{ árboles/ha}$$

TRESBOLILLO.

En un arreglo o diseño topológico en tresbolillo, cada árbol tendrá la misma distancia que los árboles que le rodean. Tres árboles forman un triángulo equilátero. La distancia entre árboles (**da**) es mayor que la distancia entre hileras (**dh**), (**da > dh**). Para calcular la densidad de población en un arreglo en tresbolillo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$DP = \frac{10\,000}{(da)(dh)}$$

Ejercicio. Calcular la densidad de población de un huerto de guayabos en arreglo en tresbolillo con una distancia entre árboles de 7 m. Como en un arreglo en tresbolillo **da > dh**, es necesario calcular la distancia entre hileras (**dh**) antes de sustituir en la fórmula.



La resolución de este ejercicio se razona por el Teorema de Pitágoras que plantea que **en un triángulo rectángulo, el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma del cuadrado de sus catetos ($h^2 = a^2 + b^2$)**. Al despejar **b^2** , la ecuación queda, **$b^2 = h^2 - a^2$** , y como necesitamos calcular el valor de **b** , este es igual a la raíz cuadrada de **b^2** . El resultado es, **6.06 m**. Este valor corresponde la distancia entre hileras (**dh**), el cual sustituimos en la fórmula de la densidad de población (DP).

$$DP = \frac{10\,000}{(7)(6.06)} = 236 \text{ árboles/ha}$$

Existe una forma más directa para el cálculo de la densidad de población en un arreglo en tresbolillo a partir de una fórmula basada en un enfoque trigonométrico, sin pasar por el cálculo de la distancia entre hileras:

$$DP = \frac{10\,000}{(da)^2 (0.866)}$$

Para resolver el ejercicio anterior por este método solo es necesario sustituir valores:

$$DP = \frac{10\,000}{(7)^2 (0.866)} = 236 \text{ árboles/ha}$$

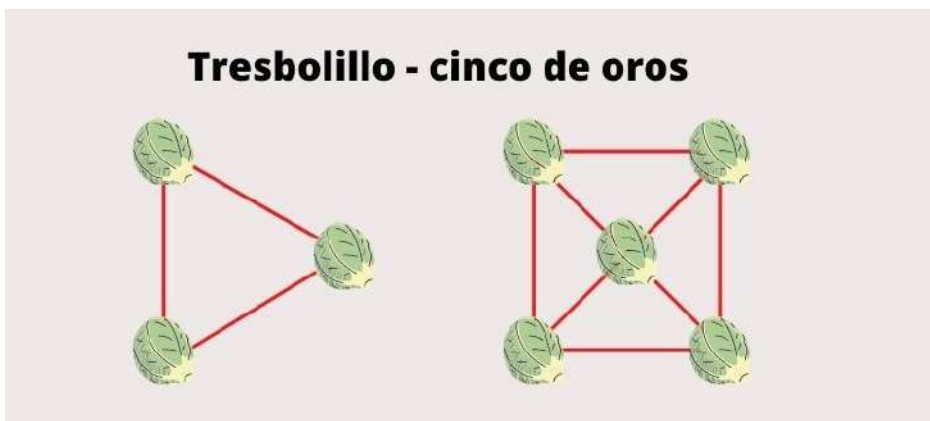
ARREGLO RECTANGULAR.

En un arreglo topológico rectangular, la distancia entre árboles es menor a la distancia entre hileras ($da < dh$). Este arreglo es muy utilizado en plantas frutales de bajo porte o que se conducen con espaldera, como vid, zarzamora, frambuesa, kiwi, manzana, peral, etc. Para calcular la densidad de población se utiliza la fórmula:

$$DP = \frac{10\,000}{(da)(dh)}$$

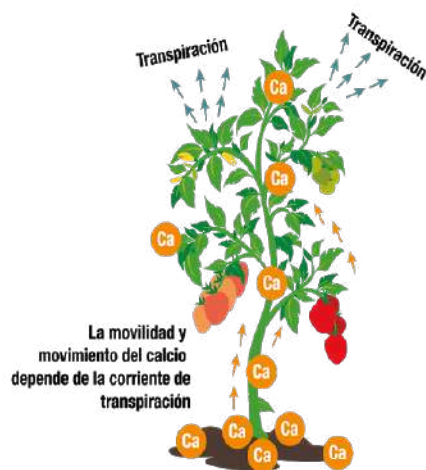
ARREGLO TOPOLÓGICO QUINCUNCIO O 5 DE OROS.

El arreglo en "5 de oros" consiste en un arreglo en marco real básico, pero en el centro del cuadrado que forman cuatro árboles de una especie, se planta un arbolito de una segunda especie, generalmente más precoz.



Comentarios:

FICHA TEMÁTICA No. 3. MÓDULO V. EL AGUA EN EL SUELO Y LAS PLANTAS.



El agua es fundamental en la vida de todos los seres vivos en el planeta Tierra. Las plantas absorben agua y se nutren del suelo a través de sus raíces, por lo que es necesario que siempre haya humedad en el suelo agrícola. La solución del suelo contiene sales minerales que sirven para la elaboración de sustancias orgánicas por medio de la fotosíntesis y el agua forma parte de las células y tejidos vegetales. El proceso de transpiración de las hojas de las plantas cumple un papel como mecanismo de refrigeración y para mantener una temperatura estable en los tejidos fotosintéticos, pero también es imprescindible en el proceso de absorción

por parte de las raíces ya que la corriente transpiratoria posibilita que la planta no gaste energía por este concepto.

Cada suelo tendrá diferente capacidad de retener humedad disponible para las raíces de las plantas, de acuerdo con sus características físicas y biológicas. **La textura, la estructura, la densidad aparente y el contenido de materia orgánica** influyen en la porosidad del suelo, la que a su vez determina la cantidad de agua y aire que el suelo puede contener. El **volumen de espacio poroso** del suelo consiste en poros muy pequeños llamados **microporos o poros capilares**, poros medianos y poros grandes también llamados **macroporos**. La proporción de macro, meso y microporos del suelo depende también de las características de este. Por lo general, por los macroporos fluye el aire y se difunden los gases del suelo, mientras que, en los poros medianos, pero sobre todo en los microporos, el agua se mantiene para ser aprovechada por las raíces del suelo. Sin embargo, cuando llueve copiosamente o regamos con láminas de riego pesadas, el agua ocupará todo el espacio poroso, expulsando el aire del suelo; mientras que cuando el suelo está muy seco, una mayor proporción del espacio poroso estará ocupado de aire, y solo una película muy delgada de agua estará fuertemente adherida a las superficies de las partículas del suelo. El balance ideal entre la fase líquida y gaseosa del suelo es de mitad y mitad, pero en la realidad, puede que no se presente.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

Para conocer el contenido de agua en el suelo se utiliza el **método gravimétrico** que consiste en tomar una muestra de unos cuantos gramos, extraída a la profundidad que crecen las raíces del cultivo. Se pesa esta muestra, que le llamaremos, **muestra de campo**, y al peso le denominamos **peso del suelo húmedo (Psh)**. Una vez pesada la muestra y registrado su peso

húmedo se mete a una estufa de convección a unos 105°C por un tiempo de 24 horas y se vuelve a pesar. A este peso se le llama, **peso del suelo seco (Pss)**, y estos datos de peso se sustituyen en la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{(Psh - Pss)}{Pss} \times 100$$

El valor de contenido de humedad se expresa en porcentaje de agua (%H) del peso del agua (Pa) en la muestra con relación al peso del suelo seco (Pss). La expresión que nos muestra lo anterior es:

$$\%H = \frac{(Psh - Pss)}{Pss} \times 100 = \frac{(Psh - Pss = Pa)}{Pss} \times 100 = \frac{Pa}{Pss} \times 100$$

El valor de contenido de agua en el suelo también puede expresarse como porcentaje del volumen de agua con relación al volumen total del suelo (%V/V), aunque en forma práctica es difícil de determinar.

CLASES O FORMAS DE AGUA EN EL SUELO

De acuerdo con la disponibilidad de agua para su aprovechamiento por las raíces de las plantas se reconocen tres clases o formas de agua en el suelo. **El agua gravitacional, agua capilar y agua higroscópica.** Para poder distinguirlas haremos un ejercicio imaginario que consiste en considerar que regamos con agua abundante, o que cae una lluvia copiosa sobre un terreno.

AGUA GRAVITACIONAL O LIBRE

El agua de lluvia o del riego va llenando el espacio poroso del suelo por el fenómeno llamado **infiltración**. Los poros grandes se llenan primero y después lentamente se van llenando los microporos o poros capilares. Cuando todo el espacio poroso, a cierta profundidad, está completamente lleno de agua se dice que el suelo está en el **punto de saturación** o que el suelo está **saturado de agua**. Una vez que se alcanza el punto de saturación, el agua de los poros grandes o macroporos se va vaciando ya que el agua se va infiltrando por efecto de la fuerza de la gravedad a mayores profundidades del suelo. Esta evacuación se produce en un periodo de tiempo corto, o en cuestión de unas cuantas horas, porque el movimiento de infiltración del agua es muy rápido. A esta agua que se mueve rápidamente hacia mayores profundidades del suelo y que **no puede ser aprovechada por las raíces de las plantas** se le denomina **agua gravitacional o libre**.

AGUA CAPILAR

Después de que el agua gravitacional se ha drenado y que los macroporos se han vuelto a llenar de aire, una importante cantidad del agua restante queda “atrapada” entre los poros medianos, y sobretodo, en los microporos o poros capilares. Estos poros capilares son en realidad unos conductos extremadamente finos que forman una compleja red donde el agua, por efecto de las fuerzas de adhesión y cohesión, puede moverse lentamente en múltiples direcciones, incluyendo hacia la superficie del suelo, cuyo fenómeno se le conoce como **capilaridad**. Esta agua que se mueve lentamente en varias direcciones es fácilmente aprovechable por las plantas, lleva el nombre de **agua capilar o agua aprovechable**.

AGUA HIGROSCÓPICA

Cuando el agua capilar se ha agotado, ya sea por causa de su absorción por las raíces de las plantas, movimiento hacia horizontes más profundos o evaporación en los límites de la superficie del suelo; solo quedan unas finas películas formadas por moléculas de agua adheridas fuertemente a las partículas más finas del suelo. Esta forma de agua no presenta movimiento y tampoco es aprovechable por las plantas. Se trata del **agua higroscópica**.

PARAMETROS O CONSTANTES DE HUMEDAD DEL SUELO.

Considerando que, de las tres clases o formas de agua en el suelo, solo el **agua capilar** es la más importante para el desarrollo de las plantas, surge la necesidad de establecer ciertos parámetros que nos indiquen:

- Cual es el porcentaje de contenido de agua en el suelo que determine la máxima cantidad de agua capilar en el suelo.
- Cual es el porcentaje de contenido de agua en el suelo que nos indique que el agua capilar se ha agotado.
- Cual es la cantidad de agua que podemos adicionar de acuerdo con las características del suelo, sin que haga falta o se adicione de más y que pueda representar un desperdicio.

Partiendo de la premisa de que estos indicadores están determinados por las características del suelo, luego entonces serán valores diferentes de porcentajes de humedad para cada tipo de suelo, es decir, **cada suelo tendrá valores diferentes para los mismos indicadores**. Estos indicadores son llamados **parámetros o constantes de humedad del suelo**.

PORCENTAJE DE HUMEDAD A CAPACIDAD DE CAMPO (CC).

El porcentaje de humedad a capacidad de campo (CC) se define como **la máxima cantidad de agua capilar o agua aprovechable que un suelo puede retener**. Es importante insistir que la máxima cantidad de agua aprovechable que un suelo puede retener depende de sus características y por lo tanto no será el mismo valor de capacidad de campo para todos los suelos, sino que cada suelo tendrá su propio valor, o incluso horizontes del mismo suelo tendrán con seguridad valores diferentes de humedad a capacidad de campo. También es importante subrayar que el contenido de humedad aprovechable del suelo es dinámico y que con el paso del tiempo va disminuyendo hasta llegar a cero, siempre y cuando no se presente una lluvia o se suministre agua por medio del riego. La lógica elemental del manejo del agua en los cultivos nos dicta que, si la cantidad de agua aprovechable llega a puntos críticos, lo recomendable, desde el punto de vista técnico, es que volvamos a adicionar agua al suelo hasta alcanzar **el porcentaje de humedad a capacidad de campo**. En los suelos arenosos que presentarán un porcentaje de humedad a capacidad de campo (CC) muy bajo, porque no pueden retener grandes cantidades de agua aprovechable, la práctica del riego sea más frecuente que en los suelos arcillosos con valores de humedad a capacidad de campo mayores.

PORCENTAJE DE HUMEDAD AL PUNTO DE MARCHITAMIENTO PERMANENTE (PMP).

El porcentaje de humedad al punto de marchitamiento o marchitez permanente (PMP) es el valor de **cero cantidad de agua capilar o agua aprovechable en la zona del suelo donde las raíces se aprovisionan y a causa de esto las plantas se marchitan y mueren por falta de agua**. Este indicador o parámetro de humedad nunca debe alcanzarse, es decir, que antes de que se agote el agua capilar es necesario adicionar nuevamente agua al suelo. Sin embargo, el valor de PMP es necesario conocerlo, porque así estaremos en condiciones de programar el siguiente riego, mucho antes de que se llegue a este punto. **Este indicador es importante para determinar el momento del riego y cada cuando regar (intervalo de riego)**.

PORCENTAJE DE HUMEDAD DE AGUA APROVECHABLE (HA).

El porcentaje de humedad de agua aprovechable (HA) es el valor de humedad que debemos adicionar al suelo para alcanzar el porcentaje de humedad a capacidad de campo. Es un dato que podemos utilizar para determinar **la cantidad de agua que debemos adicionar sin que represente carencias o desperdicios de este recurso**. Es un indicador muy práctico e importante para determinar **cuanto regar, es decir, la cantidad de agua a utilizar en cada riego**. El porcentaje de humedad de agua aprovechable (HA) se calcula a partir de los valores de CC y PMP por la siguiente fórmula:

$$HA = CC - PMP$$

DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES DE HUMEDAD DEL SUELO.

La determinación de las constantes o parámetros de humedad del suelo se hacen por varios métodos:

- Método gravimétrico o de campo para la determinación de la capacidad de campo.
- Método gravimétrico o del girasol para la determinación del punto de marchitamiento permanente.
- Método tensiométrico para la determinación de la capacidad de campo y del punto de marchitamiento permanente.
- Método indirecto para la determinación de la capacidad de campo y del punto de marchitamiento permanente (Matadamas, 2021).

En cualquier caso, es importante conocer estos parámetros para manejar de forma eficiente el agua en los cultivos.

LÁMINA DE RIEGO.

La lámina de riego (L_r) es el grosor de una lámina teórica de agua que podemos aplicar a cualquier superficie y que garantiza una cantidad de humedad a capacidad de campo, tomando en consideración las características físicas del suelo y la profundidad de las raíces absorbentes de las plantas del cultivo. La lámina de riego se expresa en centímetros de grosor y no es una cantidad o volumen de agua, sino más bien un valor adimensional que al multiplicarlo por la superficie a regar nos brinda el volumen de agua de riego (V_a).

$$L_r = (CC - PMP) \times D_{ap} \times Pr$$

$$L_r = HA \times D_{ap} \times Pr$$

Finalmente la fórmula de lámina de riego quedaría como la multiplicación del porcentaje de humedad de agua aprovechable (HA) por el valor de densidad aparente (D_{ap}) por la profundidad a la que se encuentran las raíces absorbentes de las plantas del cultivo (Pr).

VOLUMEN DE AGUA.

Ya que hemos calculado la lámina de riego, que es un valor que podemos aplicar a cualquier superficie de terreno, desde una maceta hasta varias hectáreas; se procede a determinar el volumen de agua (m^3 o litros) que se requieren para completar esa lámina de riego. Para este efecto vamos a utilizar la siguiente fórmula:

$$Va = (\text{Área o superficie, } m^2) (\text{Lámina de riego, } m)$$

En este punto debemos tener cuidado con la unidad de medida de la lámina de riego que hasta este momento hemos utilizado los centímetros que ahora debemos convertirlos a metros.

TIEMPO DE RIEGO.

Ya que hemos determinado la cantidad de agua a utilizar para la superficie a regar y con la lámina de riego previamente calculada, estamos en condiciones de calcular el tiempo de riego (Tr), siempre y cuando contemos con el dato del gasto o caudal (Q). El gasto es la cantidad de agua por unidad de tiempo (**lps**) que nos brinda cualquier dispositivo hidráulico (canal, tubo de salida, vertedor, etc).

$$Q = \text{litros/segundo}$$

El tiempo de riego lo podemos calcular con la siguiente fórmula:

$$Tr = \frac{Va}{Q}$$

El resultado se expresa en **segundos** por lo que debemos convertirlos a horas, minutos y segundos. La siguiente fórmula es útil para tal efecto:

$$Horas = \frac{Tr}{3600}$$

La fracción entera serán las horas y la fracción decimal la multiplicaremos por 60 para obtener los minutos. Si el valor de los minutos tiene una fracción decimal la multiplicamos nuevamente por 60 para obtener los segundos.

Comentarios:

FICHA TEMÁTICA No. 4. MÓDULO V. NUTRICIÓN VEGETAL Y FERTILIZACIÓN.

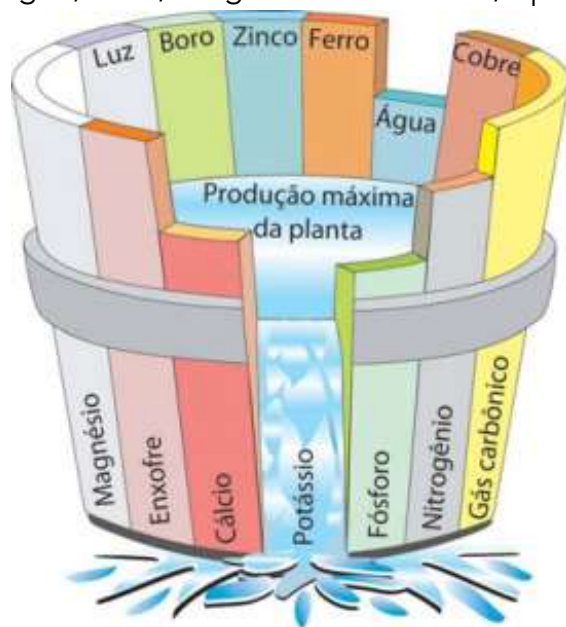
Uno de los aspectos técnicos más importantes en el manejo agronómico de los cultivos es la nutrición vegetal y los principios de la fertilización. El estado nutrimental de las plantas de un cultivo es fundamental para que alcancen su máximo potencial de crecimiento y desarrollo y por consecuencia, la obtención de altos rendimientos. Las plantas adecuadamente nutridas serán capaces de tolerar los efectos de fenómenos ambientales adversos, como las bajas temperaturas o los periodos de sequía; también podrán resistir a los ataques de plagas y enfermedades, o competir con la maleza. Se ha observado que las plantas con una óptima nutrición presentan una mayor adaptación a condiciones adversas de suelo y que su fisiología o funcionamiento se ve mejorado.

BASES GENERALES DE LA FERTILIZACIÓN DE LOS CULTIVOS.

La fertilización es un conjunto de métodos y técnicas que tienen por objetivo principal el de aportar a las plantas de un cultivo los nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo, en la cantidad, momento y forma adecuados. Los principios técnicos de la fertilización se plantean en las llamadas **Leyes de la fertilización**.

LEY DEL MÍNIMO DE VON LIEBIG (1840).

En su acepción más general, esta ley nos plantea que de todos los factores que las plantas necesitan para su desarrollo, es el que se encuentra en su **nivel mínimo** el que limitará sus rendimientos. En principio se puede hablar de todas las necesidades de las plantas como, luz, agua, CO₂, oxígeno o nutrientes; que, si alguna de ellas se encuentra en una cantidad

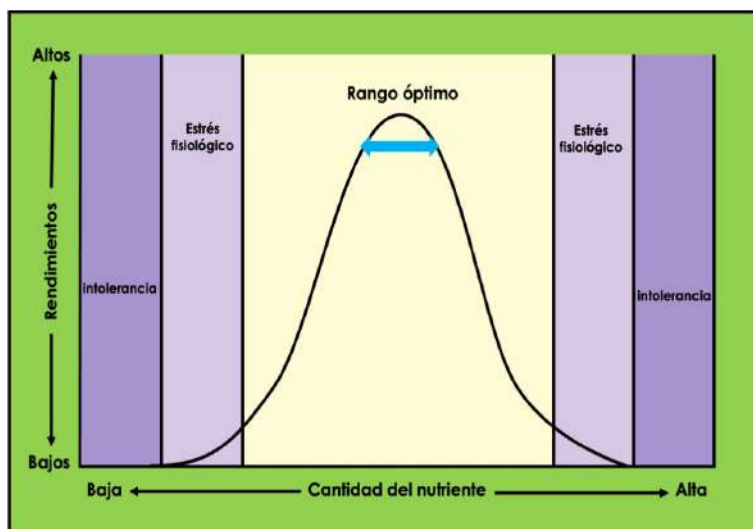


insuficiente, limitará todo el crecimiento de la planta y esto afectará de forma negativa los rendimientos, aunque las demás necesidades estén adecuadamente satisfechas. Como lo podemos ver en el esquema, la cantidad de potasio se encuentra en su nivel mínimo y está afectando la producción o rendimiento máximo. Cuando se corrige esta deficiencia, los rendimientos aumentarán hasta que otra necesidad ahora sea el mínimo. Desde el enfoque de la nutrición vegetal y la fertilización, esta ley nos indica que todos los nutrientes minerales deben estar en cantidades óptimas, ni menores a las necesidades, ni tampoco mayores a éstas, es decir,

una **nutrición balanceada**, tomando en consideración que algunos nutrientes serán requeridos en mayor cantidad que otros.

LEY DE LA TOLERANCIA DE ERNEST SHELFORD (1911).

De acuerdo con esta ley, las cantidades de nutrientes que se deben aportar en la fertilización y que complementan a las ya existentes en el suelo, deben ser iguales a las necesidades de las plantas. Si algún nutriente se encuentra a un nivel por debajo de las necesidades, las plantas expresarán una intolerancia a esta situación, presentando síntomas de carencia o deficiencia, y los rendimientos son gravemente afectados. En el otro extremo, si algún



nutriente se encuentra en cantidades excesivas, las plantas también experimentarán intolerancia y mostrarán síntomas de toxicidad, su funcionamiento se alterará y los rendimientos caerán, ahora por exceso. El rango óptimo es cuando las cantidades de nutrientes son las requeridas por las plantas, y una vez que se alcanzan la máxima expresión de crecimiento, no se recomienda adicionar mayores cantidades de nutrientes.

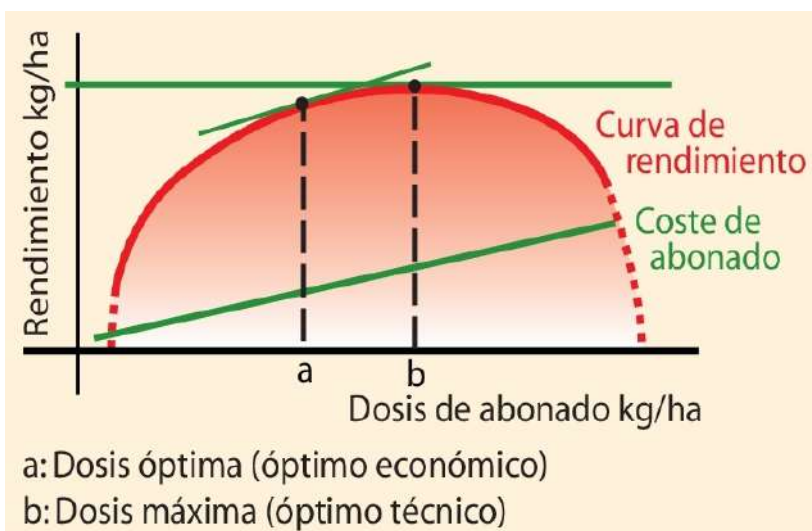
LEY DE LA RESTITUCIÓN DE BOUSSINGAULT (1860).

El principio de esta ley es que es necesario mantener un suelo en un estado óptimo de nutrientes para lo que debemos regresar o restituir lo que se extrae. Una buena administración de la fertilidad del suelo toma en consideración las salidas (egresos) y las entradas (ingresos) de nutrientes y, en consecuencia, antes de iniciar un nuevo ciclo agrícola es menester compensar las salidas de nutrientes por concepto de extracción por los cultivos, consumo de las malezas, fijación química, transformación a compuestos orgánicos, consumo por los microorganismos y pérdidas por lixiviación. Cuando no tomamos en cuenta el estado de fertilidad de los suelos y solo extraemos nutrientes, las plantas del cultivo crecerán en un estado de desnutrición con cuadros de síntomas visibles cuando las deficiencias son agudas, pero en ocasiones no se presentan síntomas; pero las deficiencias están presentes y merman considerablemente los rendimientos. A este fenómeno se le conoce con el nombre de "hambre oculta", en el que, aunque las plantas del cultivo no presentan síntomas de

deficiencia, están de todas maneras padeciendo carencias nutrimentales cuyos efectos serán determinantes en la obtención de bajos rendimientos.

LEY DE LOS INCREMENTOS DECRECIENTES DE MITSCHERLICH (1839).

El enfoque económico de la ley de los incrementos decrecientes es muy importante para tomar decisiones en la fertilización de los cultivos ya que la respuesta de las plantas a la aplicación de nutrientes **no es lineal**, es decir, los rendimientos no son proporcionales a las dosis de fertilización. Al correlacionar datos de rendimientos y la aplicación de nutrientes se obtiene una curva denominada **potencial** que al inicio presenta una mayor pendiente, pero a medida que aumentan las dosis de fertilización, la pendiente de la curva de rendimientos va disminuyendo hasta llegar a cero, y posteriormente presentar una pendiente negativa que expresa una disminución de los rendimientos. Por lo anterior, si adicionamos dosis crecientes de nutrientes, **los incrementos en los rendimientos** cada vez van siendo menores hasta llegar a un punto de máximos rendimientos, que sería **la dosis máxima** para alcanzar la máxima producción y representa el **óptimo técnico**. Sin embargo, antes de alcanzar ese óptimo técnico se encuentra **una dosis óptima** de fertilización con la que se obtiene un **óptimo económico**. Una conclusión muy importante que nos arroja esta ley es que no siempre el objetivo es alcanzar los máximos rendimientos, sino más bien un punto en el que obtengamos los máximos beneficios económicos.



ELEMENTOS ESENCIALES EN LA NUTRICIÓN VEGETAL.

De los 118 elementos que aparecen en la tabla periódica solo 16 son requeridos por las plantas para su nutrición. Estos elementos son considerados esenciales ya que cumplen con ciertos criterios:

1. Todos estos 16 elementos son indispensables para el desarrollo de las plantas, y si algunos de estos elementos falta, las plantas no logran completar su ciclo biológico.

2. Cada uno de estos 16 elementos siempre deben estar presentes y ninguno de ellos puede suplir a otro.
3. Cada uno de estos 16 elementos tiene una o varias funciones específicas en el metabolismo o en la estructura de las plantas.
4. Con limitaciones severas de alguno de estos 16 elementos se observan síntomas característicos de la deficiencia.

Los elementos esenciales son: **Oxígeno (O)**, **Carbono (C)**, **Hidrógeno (H)**, **Nitrógeno (N)**, **Fósforo (P)**, **Potasio (K)**, **Calcio (Ca)**, **Magnesio (Mg)**, **Azufre (S)**, **Cobre (Cu)**, **Hierro (Fe)**, **Boro (B)**, **Manganeso (Mn)**, **Molibdeno (Mo)**, **Zinc (Zn)** y **Cloro (Cl)**. No todos estos elementos son necesitados por las plantas en la misma cantidad. Las plantas requieren grandes cantidades de **carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y potasio** para su crecimiento y desarrollo.

Afortunadamente, el carbono, oxígeno e hidrógeno se encuentran naturalmente en compuestos abundantes en el ambiente como el CO₂, el aire y el agua y no hay ninguna necesidad de aportarlos. No obstante, los 13 elementos esenciales restantes si que hay que aportarlos en cantidades variables.

ELEMENTOS PRIMARIOS O MACROELEMENTOS.

Al **nitrógeno, fósforo y potasio** se les considera elementos primarios, mayores o macronutrientes ya que las plantas los consumen en grandes cantidades y deben ser aportados al agroecosistema.

ELEMENTOS SECUNDARIOS.

Los elementos esenciales secundarios son consumidos por las plantas en cantidades importantes, pero menores a las de los primarios. En algunas prácticas agrícolas es posible que estos elementos se agreguen, aunque no sea el objetivo principal, por ejemplo, cuando se realizan remediaciones del suelo (encalados, aplicación de azufre agrícola, etc.), o cuando se hace el control de enfermedades fúngicas (aplicación de fungicidas a base de cobre). Los elementos esenciales secundarios son, **calcio, magnesio, azufre y cobre**.

ELEMENTOS MENORES O MICROELEMENTOS.

A pesar de que los elementos menores o microelementos cumplen con funciones muy importantes en el metabolismo de las plantas, se requieren, por parte de las plantas, en cantidades pequeñas. Es necesario estar monitoreando las reservas de estos elementos en el suelo a fin de evitar sus deficiencias.

FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES.

En la presentación se mencionan las funciones específicas de los 16 elementos esenciales que es necesario tomar en cuenta. En este apartado las describiremos de manera general.

NITRÓGENO.



El nitrógeno es el elemento que interviene en el crecimiento vegetativo activo de las plantas. Las plantas con una cantidad suficiente de nitrógeno crecen rápidamente, con un color verde intenso y brillante. Cuando hay deficiencias de nitrógeno, las plantas no crecen y presentan un cuadro sintomático llamado **clorosis**, que consiste en la falta de coloración de las hojas y

tallos.

FÓSFORO.

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento vegetal, cuya riqueza en P_2O_5 es del orden del 0.5 al 1% de la materia seca. Juega un papel muy importante en la **fotosíntesis**, en el **transporte de nutrientes**, en la síntesis y descomposición de glúcidos, síntesis de proteínas, actividad de las diastasas y como **transmisor de energía**. El síntoma más común de la carencia de fósforo es que el follaje de las plantas torne a un color verde oscuro debido a que disminuyen los procesos de utilización de carbohidratos y estos se acumulan en los tejidos de la planta. En algunos cultivos como el tomate, papa y maíz, la deficiencia de fósforo se manifiesta como una coloración morada-purpura en tallos y nervaduras de las hojas.

POTASIO.

El potasio es uno de los nutrientes más importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que participa en diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos. Desempeña funciones esenciales en la activación enzimática, síntesis de proteínas, fotosíntesis, regulación de la apertura de los estomas, transferencia de energía, transporte de azúcares y resistencia al estrés biótico y abiótico. Cuando se presentan deficiencias de este elemento los frutos se agrietan con la fluctuación de humedad en el suelo y los frutos no crecen, se deforman y son insípidos.

CALCIO.

El calcio interviene en el crecimiento meristemático y la división celular de las células somáticas, así como en la construcción de los tejidos. Se ha observado que con carencias de calcio las plantas no crecen y los tejidos son flácidos. También se ha visto que el calcio es muy importante en la resistencia de las frutas al transporte y al almacenamiento.

MAGNESIO.

El magnesio es el átomo central en la molécula de clorofila por lo que las deficiencias de este elemento se traducen en plantas con una actividad fotosintética mermada. Es un activador de enzimas muy importante en diferentes procesos y coadyuva al transporte de azúcares por el floema.

AZUFRE.

Al formar parte de los aminoácidos como la cisteína y la metionina, las proteínas que los contienen se estructurarán más eficientemente, dándoles una gran estabilidad y conforman proteínas funcionales de gran peso molecular. También forman parte de las vitaminas sulfuradas.

COBRE.

El cobre es constituyente importante de enzimas como fenolasas, lacasas y oxidasas e interviene en la captación del CO₂ en la fotosíntesis. Forma parte central de la estructura de la enzima plastocianina (cuproproteína) que es parte fundamental en el transporte electrónico en la fotosíntesis.

HIERRO.

El hierro es un elemento determinante en la síntesis de clorofila y de proteínas en el cloroplasto y forma parte de varias cromoproteínas, como la **leghemoglobina** que es una hemoproteína que se encarga de captar el oxígeno y que no interfiera en el proceso de fijación de nitrógeno en los nódulos simbióticos en las raíces de las leguminosas.

MANGANESO.

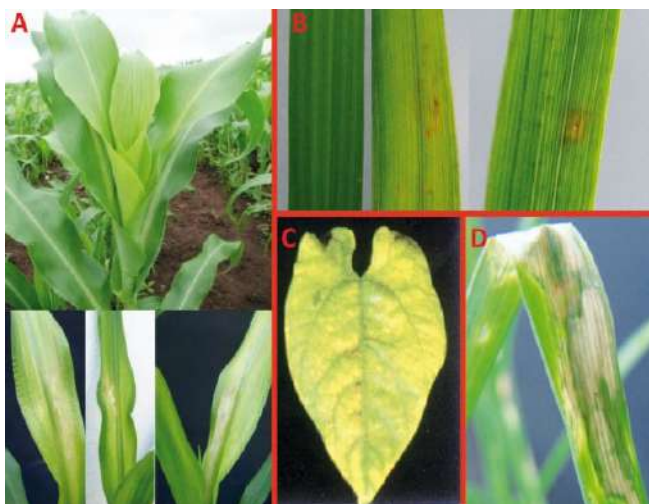
El manganeso es un activador de la enzima malato deshidrogenasa o deshidrogenasa málica (DHM) que es responsable de catalizar la reacción de conversión del oxalacetato a malato en las plantas C_4 . Interviene en la reducción de nitratos y es un agente regulador de la fitohormona ácido indolacético (AIA) que es una auxina.

BORO.

El boro interviene en el transporte de azúcares en el floema y en la absorción del fósforo y la producción de los ácidos nucleicos. Interviene en la división celular de los meristemos apicales y en la actividad de los nódulos simbióticos fijadores de nitrógeno.

ZINC.

El zinc forma parte del grupo prostético de la enzima anhidrasa carbónica que incrementa la concentración de CO_2 en el cloroplasto e interviene en la producción de fitohormonas del tipo auxinas. Ya que interviene en la síntesis de clorofila, las plantas con deficiencias de zinc exhiben una decoloración de sus hojas que llega a extremos de color amarillo claro hasta casi blanco. En cítricos y otros árboles frutales la manifestación de las deficiencias de zinc son crecimientos con hojas cloróticas (con decoloraciones) y muy pequeñas llamadas coloquialmente "orejas de ratón". Los suelos con un pH alcalino por encima de 9.0 pueden producir deficiencias de este elemento en plantas tropicales.



MOLIBDENO.

El molibdeno es un elemento indispensable en la fijación del nitrógeno atmosférico por las bacterias simbióticas en los nódulos de las raíces de las leguminosas. Su papel también es importante en el metabolismo del fósforo en las plantas y como constituyente de enzimas que catalizan reacciones en la evolución del nitrógeno en el metabolismo vegetal. Un punto aparte es su función en la síntesis de ácido ascórbico que a su vez interviene en uno de los principales mecanismos de protección contra el estrés oxidativo producido por las especies reactivas de oxígeno (ERO's).

CLORO.

En muy pequeñas cantidades el cloro contribuye a la turgencia o la hidratación celular que es un mecanismo muy útil para las plantas contra la sequía. Y si, en cantidades altas puede llegar a ser fitotóxico.

MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DEL ESTADO NUTRIMENTAL.

Para conocer el estado nutricional de las plantas del cultivo existen varias estrategias a seguir:

- 1) **Análisis de fertilidad del suelo.** Consiste en obtener muestras de suelo a la profundidad a la que se desarrollan las raíces de las plantas del cultivo y enviarlas al laboratorio para el análisis de las características químicas y del contenido de elementos de interés.
- 2) **Análisis de tejido vegetal.** Es posible también hacer análisis en el laboratorio de pecíolos, ápices y hojas de las plantas del cultivo y determinar los niveles de los diferentes elementos esenciales y compararlos con niveles predeterminados citados en la literatura.
- 3) **Análisis visual de los síntomas de deficiencias.** A partir de claves de síntomas ya publicadas (como la que aparece en la diapositiva) se definen las deficiencias. Con este método solo se pueden identificar deficiencias moderadas y agudas. Los síntomas que se toman en cuenta principalmente son, la clorosis (decoloración), marchitez (tejidos flácidos) y necrosis (tejidos muertos). La parte de la planta donde se presenta el síntoma también es importante y puede considerarse toda la planta (sintomatología generalizada), yemas, tallos, hojas (jóvenes o viejas). Los síntomas en las hojas pueden presentarse en toda la lámina foliar, los márgenes o las nervaduras.

FUENTES DE LOS NUTRIMENTOS PARA LAS PLANTAS.

Existen dos principales fuentes de nutrientes para las plantas: **los abonos orgánicos** y **los fertilizantes químicos**.

ABONOS ORGÁNICOS.

Son materiales de origen orgánico con un alto grado de descomposición como son los estiércoles que son deyecciones sólidas y líquidas del ganado u otros animales, restos de vegetales y derivados del compostaje. Su incorporación al suelo mejora la actividad microbiana, así como sus características físicas y su capacidad de intercambio catiónico. Al utilizar abonos orgánicos es importante considerar que la liberación de nutrientes (mineralización) es lenta y se requieren cantidades importantes de estos materiales para satisfacer las necesidades de ciertos cultivos. En otras palabras, los beneficios en el aumento de la fertilidad del suelo se obtienen a mediano o largo plazo y con una práctica de abonado permanente.

FERTILIZANTES QUÍMICOS.

Son materiales de origen inorgánico, generalmente mineral o como productos de la síntesis química. Son compuestos químicos en cuya estructura se encuentran los elementos esenciales para las plantas en concentraciones constantes o invariables. Se trata de sales iónicas que al disolverse en la solución del suelo liberan los elementos que las plantas necesitan y absorben. Estos fertilizantes químicos se clasifican en **simples y compuestos**, de acuerdo con la presencia de los macronutrientes (N, P, K) en su formulación.

FERTILIZANTES QUÍMICOS SIMPLES.

Los fertilizantes químicos simples son aquellos que **contienen uno de los tres macronutrientes**, por lo que podemos tener tres tipos de fertilizantes simples: **fertilizantes nitrogenados**, **fertilizantes fosforados** y **fertilizantes potásicos**.

FERTILIZANTES QUÍMICOS SIMPLES NITROGENADOS.

Como su nombre lo indica en su formulación solo contienen nitrógeno como macronutriente y los más comercialmente conocidos son: **Urea (46%)**, **Nitrato de amonio (33.5%)**, **Sulfato de amonio (20.5%)**, **Cianamida cálcica (16%)**, **Cianamida hidrogenada (10%)** y **Amoniaco anhidro (82%)**. El porcentaje dentro de los paréntesis indican la concentración de nitrógeno de cada fertilizante.

FERTILIZANTES QUÍMICOS SIMPLES FOSFORADOS.

Los fertilizantes simples fosforados que podemos encontrar comercialmente son: **Superfosfato de calcio triple (46%)** y el **Superfosfato de calcio simple (20%)**.

FERTILIZANTES QUÍMICOS SIMPLES POTÁSICOS.

Los fertilizantes simples potásicos que podemos adquirir en el mercado son: **Sulfato de potasio (50%)** y **Cloruro de potasio (60%)**.

FERTILIZANTES QUÍMICOS COMPUESTOS.

Cuando un fertilizante contiene 2, o los 3 macronutrientes se le considera un **fertilizante químico compuesto**. Los fertilizantes compuestos pueden ser **binarios o ternarios**.

FERTILIZANTES COMPUESTOS BINARIOS.

Los fertilizantes compuestos binarios contienen en su formulación 2 de los 3 macronutrientes y los más comunes son: **Fosfato diamónico (18% N y 46% P)** y **Nitrato de potasio (13% N y 44% K)**.

FERTILIZANTES COMPUESTOS TERNARIOS.

Los fertilizantes compuestos ternarios son formulaciones que contienen los 3 macronutrientes y los más disponibles son: **18-9-18**, **Nitrofoska Azul (12-8-16)**, **Triple 15 (15-15-15)**, **Triple 16 (16-16-16)**, **Triple 17 (17-17-17)**, **Triple 20 (20-20-20)** y **Triple 25 (25-25-25)**.

APLICACIÓN DE LOS FERTILIZANTES.

Generalmente los fertilizantes se aplican al suelo, ya sea en **banda** o de forma **mateada** cuando hay humedad en el suelo para que se disuelvan. Solo en el caso del amoníaco anhidro se inyecta al suelo ya que es un gas que al entrar en contacto con el suelo se fija y se puede disolver en la solución del suelo. Los elementos secundarios y microelementos son frecuentemente aplicados al follaje por medio de aspersiones, y son llamadas aplicaciones foliares. El pasto (césped) de los campos de golf o estadios es asperjado con urea especial como aporte de nitrógeno.

FERTILIZACIÓN.

La fertilización es la operación de cultivo que consiste en proporcionarle a las plantas del cultivo las fuentes de elementos esenciales para mantener un óptimo estado de nutrición y que alcancen su máximo potencial de crecimiento, desarrollo y producción. Para realizar una adecuada fertilización de los cultivos es necesario tomar en consideración todos los principios ya vistos de las leyes de la fertilización y luego determinar las cantidades de fertilizante a emplear con base a las reservas del suelo y las necesidades de las plantas. Se pueden elaborar programas de fertilización muy precisos apoyados en la información resultante de los análisis de suelo, pero la mayoría de los campesinos no cuentan con facilidades para acceder a estos servicios técnicos por lo que es posible realizar una satisfactoria fertilización recurriendo a las **FÓRMULAS GENERALES DE FERTILIZACIÓN (FGF).**

FÓRMULAS GENERALES DE FERTILIZACIÓN (FGF).

Una fórmula general de fertilización es una recomendación técnica, emitida por las dependencias públicas de investigación agrícola; de la cantidad de macroelementos (Kg) de debemos aplicar para cierto cultivo y variedad, para una determinada zona y para una hectárea (10,000 m²). Una FGF cuenta con tres cifras (00-00-00) que indican los kilogramos de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente, para fertilizar una hectárea de cultivo. Como son el resultado de ensayos de investigación, estas fórmulas solo deben emplearse para la zona, cultivo y variedad recomendados.

Comentarios:

Problemario sobre siembra y arreglos topológicos

Elías Jaime Matadamas Ortiz

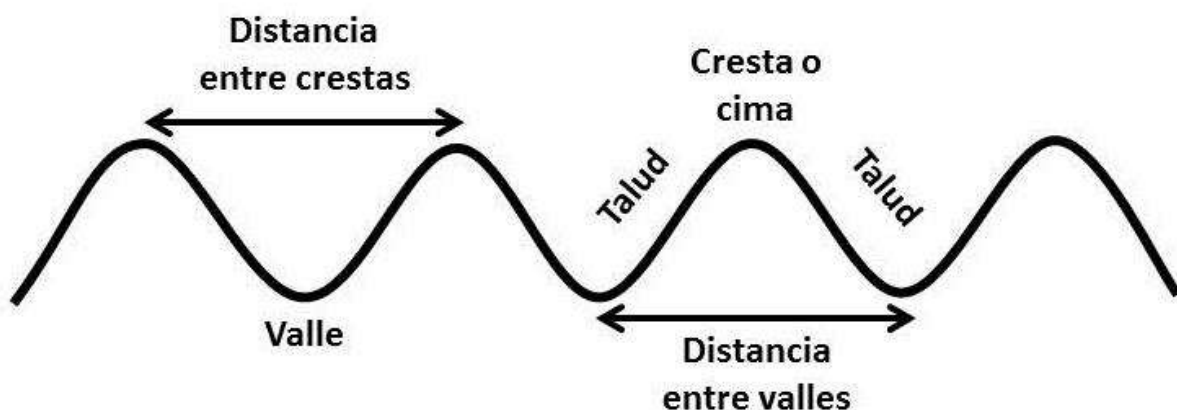
La siembra se puede hacer sobre surcos, camas o melgas, dependiendo del cultivo y de su manejo agronómico. En el caso de la siembra sobre surcos, se deben considerar algunos aspectos para poder calcular la **Densidad de población**. A continuación abordaremos estos aspectos básicos de la siembra.

1. Conceptos básicos

- 1.1. Densidad de Siembra.** La densidad de siembra es la cantidad (kilogramos o toneladas) de semilla o material vegetativo necesario para sembrar o plantar una superficie de terreno de una hectárea (10,000 m²).
- 1.2. Densidad de Población.** La densidad de población es el número de plantas que resultan de la siembra o del trasplante en una superficie de una hectárea.
- 1.3. Arreglo topológico.** Es la disposición o la forma que tomará la distribución de plantas sobre el terreno. Se utilizan generalmente en huertos de árboles frutales.

2. Siembra sobre surcos.

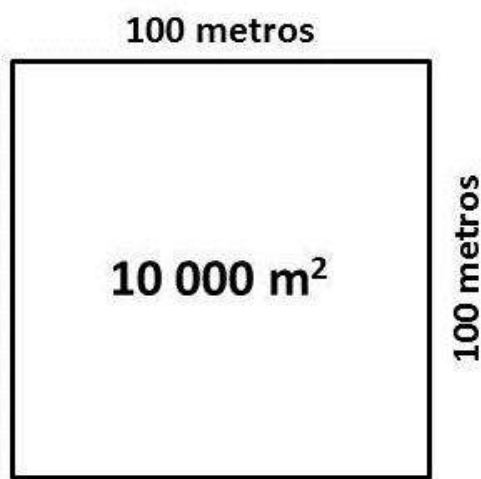
La siembra sobre surcos puede tomar varias formas. En primer lugar, podemos depositar la semilla en el valle, en los taludes o sobre la cima del surco. Luego, consideraremos si la semillas se depositan en hilera sencilla o en hilera doble en el caso de que se siembre sobre los dos taludes, y finalmente debemos tomar en cuenta si se siembra en forma mateada o a chorrillo. Esto último tiene relación con la distancia entre semillas sobre la hilera o hileras.



Para hacer el cálculo de la densidad de población es necesario tomar en consideración la **distancia entre surcos** y la **distancia entre plantas**. La distancia entre surcos es la distancia que tienen dos crestas o dos valles de dos surcos. Esta distancia está ya determinada en la calibración de la sembradora o de la surcadora, y puede ir desde los 66 cm a los 92 cm.

La distancia entre plantas es la distancia a la que se siembran las semillas o se trasplantan las plántulas en una o dos hileras sobre el surco.

Una manera muy sencilla de conocer la densidad de población de cualquier cultivo es dibujar un cuadrado con una dimensión teórica de 100 metros por lado. Un terreno con esas medidas tendrá una superficie de 10,000 m², es decir 1 hectárea.



En cualquier dirección que hagamos los surcos en esa hectárea, los surcos tendrán una longitud de 100 metros.

Ejercicio 1. Calcular la densidad de población de una siembra sobre surcos en hilera sencilla, cuya separación entre surcos es de 80 cm y la distancia entre plantas es de 25 cm.

Solución: En primer término procedemos a dividir los 100 m de ancho del terreno entre 80 cm (0.8 m) y como resultado de esta operación tenemos 125 surcos por hectárea.

$$\frac{100 \text{ m}}{0.8 \text{ m}} = 125 \text{ surcos}$$

Ahora bien, dividimos la longitud del surco entre la distancia entre plantas:

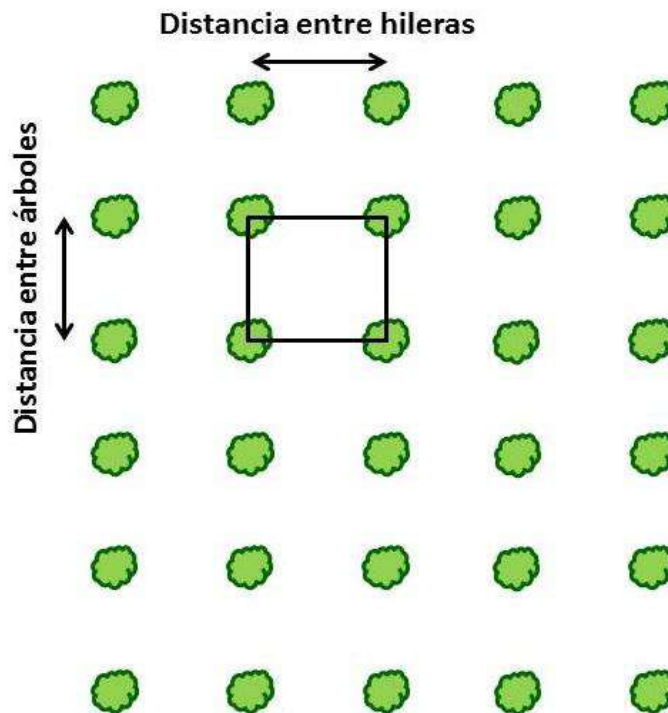
$$\frac{100 \text{ m}}{0.25 \text{ m}} = 400 \text{ plantas por surco}$$

Por último multiplicamos el número de plantas por surco por el número de surcos y obtenemos la densidad de población:

$$(400) (125) = 50\,000 \text{ plantas por hectárea}$$

3. Arreglo topológico en MARCO REAL.

En un arreglo topológico en marco real, los árboles quedan distribuidos sobre el terreno quedando cuatro árboles en cada vértice de un cuadrado:



Para calcular la densidad de población en un arreglo de este tipo se utiliza la siguiente fórmula:

$$D.P. = \frac{10\,000 \text{ m}^2}{(d^2)}$$

En este caso d es la distancia entre hileras, que es igual a la distancia entre árboles.

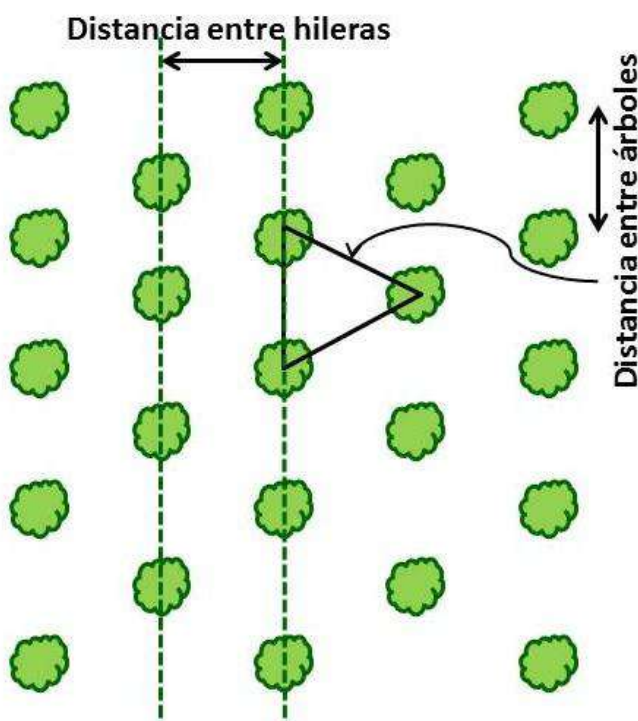
Ejercicio 2. Calcular la densidad de población de un huerto de manzanos en un arreglo en marco real a 7 metros.

Solución: Cuando nos indican que la distancia es de 7 m, significa que en marco real, la distancia entre hileras es de 7 metros y la distancia entre árboles es de 7 metros. Procedemos a sustituir valores en la fórmula:

$$\frac{10\,000\,m^2}{(7^2)} = \frac{10\,000}{49} = 204 \text{ árboles por hectárea}$$

4. Arreglo topológico en TRESBOLILLO.

En un arreglo topológico en tresbolillo los árboles de un huerto quedan distribuidos de forma que tres árboles se sitúan exactamente en los vértices de un triángulo equilátero y todos los árboles están a la misma distancia:

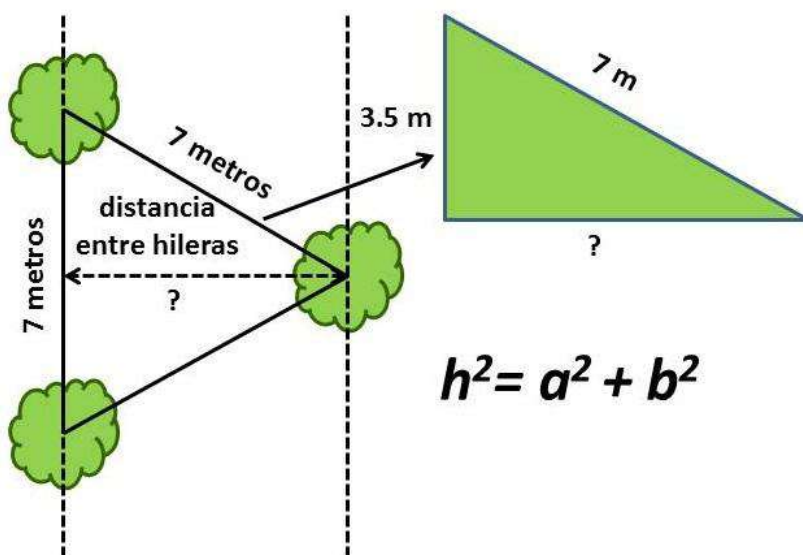


Para determinar la densidad de población de un arreglo en tresbolillo se utiliza la siguiente fórmula:

$$D.P. = \frac{10\,000\,m^2}{(dist. \text{ entre hileras})(dist. \text{ entre árboles})}$$

Ejercicio 3. Calcular la densidad de población de un huerto de manzanos a tresbolillo a 7 m.

Solución: En primer lugar debemos calcular la distancia entre hileras, ya que la distancia entre árboles sabemos que es de 7 m. Para este efecto, hacemos un esquema de tres árboles:



Por medio del teorema de Pitágoras tenemos que desconocemos el valor de ***b***, que en nuestro caso viene siendo la distancia entre hileras. Sustituimos valores y tenemos:

$$7^2 = 3.5^2 + b^2$$

Al despejar ***b***,

$$b^2 = 7^2 - 3.5^2$$

Lo cual nos da por resultado:

$$b^2 = 49 - 12.25 = 36.75$$

$$b = \sqrt{36.75} = 6.06 \text{ m}$$

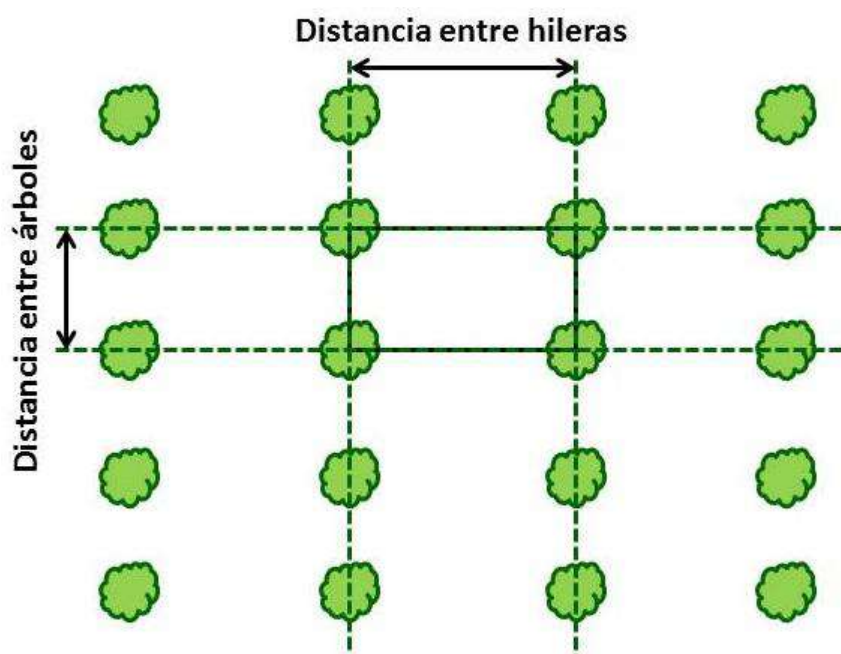
El valor resultante de 6.06 m es la distancia entre hileras lo sustituimos en la fórmula de densidad de población:

$$D.P. = \frac{10\,000 \text{ m}^2}{(6.06 \text{ m})(7 \text{ m})} = \frac{10\,000}{42.42} = 236 \text{ árboles por hectárea}$$

Lo anterior nos indica que existe una diferencia en el número de árboles entre marco real y tresbolillo a una misma distancia entre árboles, del orden del 15% más en tresbolillo.

5. Arreglo topológico RECTANGULAR.

En el arreglo topológico rectangular, la distancia entre hileras siempre es mayor que la distancia entre árboles:



Para calcular la densidad de población se utiliza la siguiente fórmula:

$$D. P. = \frac{10\,000\, m^2}{(dist. entre hileras)(dist. entre árboles)}$$

Ejercicio 4. Calcular la densidad de población de un huerto de parras con una distancia entre hileras de 3 m y una distancia entre vides de 2 m.

Solución: Sustituimos valores en la fórmula y tenemos:

$$D. P. = \frac{10\,000\, m^2}{(3\, m)(2\, m)} = \frac{10\,000}{6} = 1\,667\, vides\, por\, hectárea$$

EJERCICIOS

1. Calcular la densidad de población de un huerto de duraznos en un arreglo en marco real y en tresbolillo a una distancia entre árboles de 8 m.
2. Cual será la densidad de población de una plantación de vides plantadas a 2.5 m entre plantas y 3 m entre hileras?
3. Si calculamos la densidad de población de un huerto frutícola a una distancia entre árboles de 7 m en los arreglos marco real y tresbolillo, ¿Cual diseño tiene más árboles? y ¿Cual es su proporción?
4. En una siembra mateada de maíz, la distancia entre plantas es de 12 cm y la distancia entre surcos es de 0.8 m. Determine su densidad de población.
5. Calcular la densidad de población de un cultivo de lechuga en surcos espaciados a 80 cm y en doble hilera a una distancia entre plantas de 30 cm.

RESULTADOS.

1. Marco real = 156 árboles/ha. Tresbolillo = 180 árboles/ha.
2. 1333 vides/ha.
3. Marco real = 204 árboles/ha. Tresbolillo = 236 árboles/ha. Tresbolillo tiene 32 árboles más que el arreglo en marco real, y corresponde a un 15% aproximadamente.
4. Densidad de población: 104,167 plantas/ha.
5. Densidad de población: 83,333 plantas/ha.

Problemario del agua en el suelo y Lámina de riego

Elías Jaime Matadamas Ortiz

1. Introducción.

El suelo desde el punto de vista agrícola, constituye la principal reserva de agua para el crecimiento de las plantas y es el almacenamiento regulador del ciclo hidrológico a nivel de cultivo. Existen distintas clases de agua en el suelo con relación a la disponibilidad por las plantas.

El agua cuando se infiltra en el suelo tiende a ocupar el espacio poroso de éste, que a su vez está constituido de macroporos, mesoporos y microporos. La compleja constitución del espacio poroso y la dimensión de este espacio están determinados por la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica y la densidad aparente (D_{ap}). Así, los suelos arenosos tendrán una gran proporción de macroporos, en tanto que los suelos arcillosos tendrán una mayoría de microporos. El tamaño de los poros tiene una relación directa en la interacción del agua con el suelo. A medida que los poros son más grandes, la fuerza que ejercerán las partículas y agregados será menor. Por el contrario, los poros capilares que se forman por la agregación de partículas de arcilla, retendrán con mayor fuerza al agua.

2. Contenido de agua en el suelo.

El conocimiento del contenido de agua es fundamental para determinar el momento óptimo para realizar el riego y la cantidad de agua a emplear. La cantidad de agua se expresa como porcentaje en base al peso del suelo seco, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \times 100$$

Dónde:

% H= Porcentaje de humedad del peso del agua en base al peso del suelo seco.

P_{sh} = Peso de la muestra de suelo húmeda, g.

P_{ss} = Peso de la muestra de suelo secada a la estufa, g.

Cuando un suelo tiene todo su espacio poroso ocupado por el agua decimos que el suelo está saturado de agua.

3. Tipos de agua en el suelo.

Cuando llueve de manera abundante o realizamos un riego pesado, el agua ocupará primero los macroporos y después los microporos del suelo, llegando a un punto de saturación cuando todo el espacio poroso está ocupado por el agua, a una cierta profundidad del suelo. A partir del momento en que deja de llover o interrumpimos el riego, el agua de los

macroporos se evacuará primero a horizontes inferiores, a este tipo de agua se le denomina **agua gravitacional o agua libre**. El agua gravitacional se mueve rápidamente hacia abajo y en cuestión de minutos o de horas, de acuerdo a las características físicas del suelo, su totalidad quedará fuera del alcance de las raíces de las plantas. Entonces decimos que éste tipo de agua no es aprovechable por las plantas.

Una vez que el agua gravitacional se infiltra, los poros pequeños o poros capilares retienen una apreciable cantidad de agua que tiene un movimiento lento y multidireccional. Esta agua está atrapada, pero no retenida con mucha fuerza ($1/3$ atm), en el espacio poroso del suelo y puede ser absorbida por las raíces de las plantas. Este tipo de agua es el **Agua capilar o Agua aprovechable**.

Pero el agua capilar se agota por varias causas, entre las que podemos mencionar: la absorción por las plantas, la evaporación y la infiltración, y entonces sólo queda una cantidad de agua fuertemente retenida por las partículas o agregados del suelo llamada **Agua higroscópica**. Este tipo de agua en principio está retenida a una tensión negativa de 15 atm, pero si evapora alguna cantidad, la fuerza de retención aumenta de manera considerable. El potencial osmótico de las raíces puede llegar, en el mejor de los casos, a 15 atm, lo cual nos sugiere que este tipo de agua es inalcanzable y no aprovechable.

4. Constantes de humedad.

Se les da el nombre de constantes de humedad a valores de humedad del suelo que nos indican puntos críticos para las plantas. No todos los suelos tienen la misma capacidad de retención de humedad y por lo tanto estos valores son muy útiles para determinar los parámetros del riego. A pesar de lo que sugiere su nombre, estos valores varían de acuerdo a las características y propiedades del suelo, es decir, cada suelo tendrá sus propios valores de constantes de humedad. La determinación de las constantes de humedad se efectúa en el laboratorio o por medio de métodos de campo o gravimétricos. Las dos constantes de humedad son: **Capacidad de Campo (CC)** y **Punto de Marchitamiento Permanente (PMP)**.

La Capacidad de Campo se define como el porcentaje de humedad cuando en el suelo existe la máxima cantidad de agua capilar. En otras palabras, es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener, después que toda el agua gravitacional se ha evacuado.

El Punto de Marchitamiento Permanente es definido como el porcentaje de humedad de un suelo cuando toda el agua capilar se ha agotado, y se tiene el máximo de agua higroscópica. En estas condiciones, las plantas de un cultivo sufren un marchitamiento irreversible. Con poca cantidad de agua capilar, las plantas podrían padecer un marchitamiento temporal, y entonces hablaríamos de un **Punto de Marchitamiento Temporal (PMT)**.

El valor intermedio entre la Capacidad de Campo (CC) y el Punto de Marchitamiento Permanente (PMP), se le conoce como **Humedad Aprovechable (HA)**.

5. Lámina de riego.

La lámina de riego es un valor del grosor de una lámina teórica de agua que toma en consideración las constantes de humedad, las características y la profundidad del suelo a la que se desea regar. Es necesario puntualizar que la lámina de riego no es un valor de cantidad de agua, sino más bien un dato que al multiplicarlo por una superficie, entonces si se determina un volumen de agua.

La Lámina de riego se calcula con la siguiente fórmula:

$$Lr = (CC - PMP) Dap \times Pr$$

Dónde:

Lr = Lámina de riego en centímetros.

CC = % humedad a Capacidad de Campo.

PMP = % humedad al Punto de Marchitamiento Permanente.

Dap = Densidad Aparente (g/cm³).

Pr = Profundidad del suelo donde se localiza la mayor proporción de las raíces absorbentes en centímetros.

6. Volumen de agua de riego.

En base a la lámina de riego, podemos calcular el volumen de agua en metros cúbicos o en litros que debemos aplicar a una cierta superficie. Este sencillo cálculo lo podemos realizar con la siguiente fórmula:

$$Var = (Lr)(A)$$

Dónde:

Var = Volumen de agua de riego en m³.

Lr = Lámina de riego en metros.

A = Área o superficie a regar en m².

En la transformación de metros cúbicos de agua a litros se toma en cuenta que en términos prácticos un volumen de 1 metro cúbico contendrá 1000 litros de agua.

7. Tiempo de riego.

Si ya hemos calculado la cantidad de agua en base a la lámina de riego y a la superficie a regar, podemos entonces determinar el tiempo de riego, siempre y cuando contemos con el dato del gasto o caudal.

Q es la cantidad de agua que nos proporciona una fuente, que puede ser una corriente, un canal o un tubo. Este valor es obtenido por los métodos de aforo.

El tiempo de riego será calculado por la siguiente fórmula:

$$Tr = \frac{Var}{Q}$$

Dónde:

Tr = Tiempo de riego en segundos.

Var = Volumen de agua de riego en litros.

Q = Caudal o gasto de agua de la fuente en litros por segundo (lps).

El tiempo de riego en segundos puede transformarse en unidades de horas, minutos y segundos procediendo de la siguiente manera:

Primero. Dividimos el tiempo de riego en segundos entre los litros por segundo del gasto y obtenemos las horas de riego.

Segundo: La fracción decimal resultante de las horas se multiplica por 60 para obtener los minutos.

Tercero. La fracción decimal resultante de los minutos se multiplica por 60 para obtener los segundos. En caso de obtener fracciones decimales de segundos se redondea la cifra.

8. Problemas.

1. Calcule el porcentaje de humedad de una muestra de suelo que al extraerla pesó 29.5 g y luego de sacarla de la estufa pesó 183 g.
2. Si un suelo tiene un valor de Capacidad de Campo de 39% y un valor del Punto de Marchitamiento Permanente del 18%, ¿Cuál será el valor de HA?
3. Si un suelo tiene una CC= 42% y PMP=21% y pierde agua capilar a una velocidad de 1.5% diarios ¿Cuántos días tardará en agotarse el agua aprovechable para las plantas?
4. Determine la lámina de riego de un suelo con una $D_{ap} = 1.25 \text{ g/cm}^3$; CC= 25%; PMP=13% y una Profundidad de riego de 35 cm.
5. Para una lámina de riego de 10.2 cm y una superficie de 2.5 has, determine el Volumen de agua para riego en metros cúbicos y en litros.
6. Si tenemos que aplicar un volumen de agua de riego de 3250 m^3 y contamos con un gasto de 2.1 m^3 por minuto ¿Cuál es el tiempo de riego en segundos?

7. Si el tiempo de riego es de 105 245 segundos, calcule las horas, los minutos y los segundos que durará el riego.

9. Resultados.

1. 29.5%.
2. 28.5%
3. 14 días.
4. 5.25 cm
5. 2 550 m³ o 2' 550, 000 litros.
6. 92, 857 segundos.
7. 29 horas, 14 minutos y 5 segundos.