



FISIOLOGIA VEGETAL

PARTE III

NUTRICIÓN MINERAL

Elaborado por: Fernando Pérez Leal

2017

Elementos de la materia vegetal, Leyes agrobiológicas, funciones de los elementos esenciales y sus principios, síntomas de la deficiencia y toxicidad de nutrientes, Necesidades cuantitativas, análisis de suelo, el medio de cultivo, análisis tisular, recomendaciones de las concentraciones en el tejido, métodos para estudiar la nutrición vegetal: cultivos en solución nutritiva. Agentes quelantes, nutrición foliar. Factores que afectan la nutrición mineral

Absorción de sales minerales. Superficies de absorción, Microrrizas, transporte de iones hacia la raíz, naturaleza de las membranas, absorción de solutos, principios de la absorción de solutos, transporte pasivo y activo, Bombeo de ATPasa de protones y calcio

Aceleración del transporte pasivo por portadores y canales, ventajas de utilizar bombas de protones para el transporte de iones, absorción de moléculas muy grandes por los organelos. Correlaciones entre las funciones de la absorción de minerales, factores que afectan la absorción de minerales. Metabolismo del Nitrógeno.

El Floema como sistema conductor Aspectos anatómicos del tejido floemático. Traslado de sustancias Foto Asimiladas, métodos para medir el traslado, mecanismos de traslado, sustancias que se trasladan por el floema.

El xilema como sistema conductor, las tráqueas, traqueidas, parénquima leñoso, diferencias entre xilema primario y xilema secundario, Ascenso de la savia bruta.

NUTRICIÓN MINERAL

Prefacio a la primera edición

La nutrición minerales es un área de fundamental importancia tanto en la ciencia básica como en la aplicada. Se ha hecho impresionante progreso durante las últimas décadas en nuestro entendimiento de los mecanismos de toma de nutrientes y sus funciones en el metabolismo vegetal; al mismo tiempo, también ha habido avances en incrementar el rendimiento de cultivos al suministrar nutrientes minerales a través de la aplicación de fertilizantes. La principal meta de este texto es presentar los principios de la nutrición mineral en plantas, en base a nuestro actual conocimiento. Aunque se enfatiza en plantas de cultivo, también se presentan ejemplos de plantas no cultivadas incluyendo plantas inferiores en casos donde estos ejemplos se consideran más adecuados para demostrar ciertos principios de la nutrición mineral, cualquiera a un nivel celular o como mecanismos particulares de adaptación a condiciones químicas adversas del suelo.

La nutrición vegetal es un tema estrechamente relacionado a otras disciplinas como la ciencia del suelo, la fisiología y bioquímica vegetal. En este texto, los nutrientes minerales en el suelo son tratados solo al grado considerado necesario para un entendimiento del cómo las raíces vegetales adquieren los nutrientes minerales del suelo, o cómo las raíces modifican las propiedades químicas del suelo en la interfase suelo-raíz. Los procesos fundamentales de la fisiología y bioquímica vegetal, como la

fotosíntesis y respiración, son tratados principalmente desde el punto de vista del cómo, y hasta que grado, son afectados ó regulados por los nutrientes minerales. Se incluye la fisiología de cultivos como un área de fundamental importancia práctica para la agricultura y horticultura, con particular referencia a las relaciones fuente-demanda que son afectadas por los nutrientes minerales y fitohormonas

. La nutrición mineral de la planta cubre un amplio campo. Por lo tanto no es posible tratar todos los aspectos con el detalle que merecen. En este texto, se cubren ciertos aspectos en mayor detalle, debido a que cualquiera recientemente se han vuelto particularmente importantes para nuestro entendimiento de la nutrición mineral, ó debido a los muchos avances que se han hecho en un área particular en la última década. Naturalmente, los intereses de investigación y evaluación personal son también factores que han influido la selección. Se ha dirigido particular énfasis al transporte de nutrientes minerales a corta y larga distancia, en las relaciones fuente-demanda, y en las relaciones planta-suelo. La intención de este texto también es permitir al lector de familiarizarse más con los mecanismos de adaptación de las plantas a las condiciones químicas adversas del suelo. Por lo tanto se enfatiza en la base genética de la nutrición mineral así como en las posibilidades y limitaciones de “ajustar el cultivo al suelo”, especialmente en los trópicos y subtropicos.

He escrito este texto para estudiantes graduados e investigadores en los varios campos de las ciencias agrícolas, biológicas y ambientales, que ya tienen un profundo conocimiento de la fisiología, bioquímica vegetal y ciencia del suelo. En vez de extensas explicaciones sobre los procesos básicos, se enfatiza en ejemplos representativos –tablas, figuras, representaciones esquemáticas- que ilustran los varios aspectos de la nutrición mineral. En un texto de tan amplio propósito, no pueden evitarse las generalizaciones, pero se cita literatura relevante para estudios ulteriores y más detallados. En la literatura, se ha dado preferencia a las publicaciones más recientes. No obstante, también se citan en varias secciones ejemplos representativos de las contribuciones clásicas.

Aunque este texto es escrito por una persona, es no obstante el producto de la cooperación a varios niveles. Mi interés en la nutrición vegetal y mi carrera científica en este campo se deben a la inspiración del Dr. G. Michael. El texto como se presenta aquí no se habría logrado sin el excelente apoyo de dos colegas, el Dr. Römheld y Mr. Ernest A. Kirkby. Estoy en deuda con ellos. El Dr. Römheld no solo preparado los dibujos sino también proporciono concejos altamente valiosos acerca de la organización de las tablas y mejoras al texto. Mi viejo amigo Ernest A. Kikby corrigió el inglés y mejoró el primer borrador considerablemente mediante valiosas sugerencias y críticas estimulantes. Mis colegas en el instituto, el Dr. P. Martin, Dr. W. J. Horst y el Dr. B. Satterlmacher me ayudaron mucho, mediante valiosas discusiones sobre varias áreas temáticas en este texto y a mantenerme libre por algún tiempo de enseñar y responsabilidades administrativas. Muchos colegas fueron suficientemente atentos para suplirme con sus fotografías originales, como se indica en la leyenda de las correspondientes figuras.

La preparación de un manuscrito tal requiere de experta asistencia técnica. Me gustaría agradecer especialmente a Mrs. H. Hoderlein por digitar el manuscrito.

De últimas pero no lo menos, tengo que agradecer a mi familia por animarme a escribir el texto y por su asistencia y paciencia a lo largo de este proceso consumidor de tiempo.

Horst Marschner
Stuttgart-Hohenheim
Agosto 1985

Prefacio a la segunda edición

Como se mencionó en la primera edición la principal meta de este texto es presentar los principios de la nutrición mineral de las plantas superiores, en base a nuestro actual conocimiento. Esta ambiciosa meta requiere que el contenido del texto tenga que ser actualizado regularmente para que tome en cuenta los nuevos desarrollos en el tema lo que se ha hecho en esta segunda edición. La estructura del texto no se ha alterado y el área temática y número de capítulos permanecen igual. Sin embargo, se ha revisado el contenido de los capítulos y reemplazado en promedio cerca de la mitad de las figuras, tablas y referencias. En la Parte I se ha hecho más énfasis en las interacciones raíz-vástago, fisiología del estrés, relaciones hídricas, y funciones de los micronutrientes. En vista del creciente interés mundial en las interacciones planta-suelo, se ha alterado y extendido considerablemente la Parte II. Particularmente cierto para el Capítulo 14 acerca de los efectos de los factores externos e internos en el crecimiento radical, y el Capítulo 15 acerca de la interfaz raíz-suelo (exudados radicales, microorganismos rizosféricos, micorrizas).

La segunda edición no se habría logrado sin el apoyo de muchos colegas, amigos y colaboradores. De estos colegas yo estoy particularmente agradecido con el Dr. Ismail Cakmak, Dr. Albrecht Jungk, Dr. V. Römheld y el Dr. Alexander Hansen. De nuevo mi viejo amigo Ernest A. Kirkby tomo la tarea más difícil de no solo corregir el inglés sino también de mejorar la presentación mediante valiosas sugerencias y críticas detalladas, constructivas. También estoy altamente en deuda con el Dr. Eckhard George y su equipo por dibujar hábilmente las figuras, con mi hija Petra y el Dr. Ulrich Grauer por leer críticamente el texto y las pruebas, y con Mrs. Helga Hoderlein por la alta calidad de su asistencia técnica, especialmente al preparar el manuscrito.

Horst Marschner

Stuttgart-Hohenheim
Diciembre 1993

Un año después de la segunda edición de que se publicó su *Nutrición mineral en plantas superiores*, Horst Marschner murió en Septiembre de 1996. El había contraído malaria durante una visita a proyectos de investigación agrícolas en África Oriental.

Horst Marschner nació en 1929. Después de un periodo de aprendiz en una finca, el estudió Agricultura y Química en la Universidad de Jena, y trabajó en la Universidad de Hohenheim y en la Universidad Técnica en Berlín. Desde 1977, fue un profesor en el Instituto de Nutrición Vegetal, Stuttgart-Hohenheim. Además de que Horst Marschner fue a California y Australia en términos sabáticos, fue responsable de proyectos en campo en muchos países en desarrollo, y fue visitado en Hohenheim por científicos invitados de todo el mundo que disfrutaron su entusiasmo. En su investigación, se interesó en muchos temas desde la ciencia del suelo hasta la fisiología vegetal. Contribuyó específicamente al entendimiento de la toma y uso de los nutrientes minerales por las plantas, efectos rizosféricos, aspectos ambientales de la nutrición vegetal, y adaptación de las plantas al bajo suministro y a condiciones adversas del suelo. Se volvió una figura líder en la nutrición mineral vegetal, y creyó que la ciencia y el pensamiento racional deberían ser usados para mejorar las condiciones de vida humana.

Además de escribir varios cientos de publicaciones científicas, Horst Marschner fue un profesor dedicado y mentor de jóvenes científicos. Sabemos

de mucha gente que disfrutó de sus contribuciones en reuniones y conferencias. Le fascinaba la investigación en nutrición vegetal, y transmitió esta fascinación a aquellos que lo rodeaban. Su estrecha participación con la experimentación práctica fue base en la claridad de sus comunicaciones.

Cuando se le pidió escribir un texto acerca de la nutrición mineral en plantas, Horst Marschner sabía de los riesgos y retos de escribir como un solo autor un texto general. El fue gratificado por el éxito de *Nutrición mineral en plantas superiores*, los comentarios tan positivos de sus colegas, y por la apreciación mundial de científicos y estudiantes. Cerca al retiro de sus deberes oficiales como cabeza del Instituto, el buscaba ávidamente gastar más tiempo discutiendo y presentando el progreso en su campo, la ciencia de la nutrición vegetal. Ahora después de su inesperada muerte, este texto tiene que servir como legado de un hombre enérgico, noble, constructivo y estimulante.

Stuttgart-Hohenheim
Marzo 1997

Eckhard George
Volker Römheld

Publicación basada en: Marschner H. 1995. **Mineral nutrition of higher plants**. second edition. 889pp. London: Academic Press.

NUTRICION MINERAL

INTRUDUCCION

Las plantas son organismos autótrofos que utilizan la energía solar (fotoautótrofos) para sintetizar sus componentes a partir de dióxido de carbono, agua y elementos minerales. El 90-95% del peso seco de las plantas está constituido por C, H y O, que obtienen del CO₂ y del agua. El 5-10% restante es muy diverso y constituye la fracción mineral.

REVISION BIBLIOGRAFICO

José A. Hernández Cortés. Investigador Científico del CSIC. Grupo de Biotecnología de Frutales, CEBAS-CSIC, Murcia

Los nutrientes minerales, como el nitrógeno, fósforo o potasio, son elementos que las plantas adquieren del suelo en forma de iones inorgánicos. Todos los nutrientes minerales son reciclados a partir de todos los organismos vivos, pero entran en la biosfera principalmente gracias al sistema radicular de las plantas, por lo que podríamos decir, en cierto sentido, que las plantas actúan como los “mineros” de la corteza terrestre (Epstein 1999).

El término elemento esencial mineral (o nutriente mineral) fue propuesto por Arnon y Stout en 1939. Estos autores concluyeron que para que un elemento sea considerado como esencial debe cumplir con lo siguiente:

- 1.- El elemento es necesario para el óptimo crecimiento y desarrollo de la planta y su ausencia o deficiencia en el suelo provoca en la planta un síntoma característico.

- 2.- El elemento en la planta no puede ser substituido por ningún otro elemento.
- 3.- El elemento debe estar directamente involucrado en el metabolismo de la planta.

Los elementos esenciales son: carbono, hidrógeno y oxígeno que provienen del aire y del agua del suelo. Además de: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre, magnesio, hierro, cobre, zinc, manganeso, molibdeno y boro que son suministrados a la planta a partir de las reservas del suelo o mediante la aplicación de abonos y fertilizantes.

Muchas especies han demostrado que les resulta benéfica la presencia de cloro, cobalto, silicio, sodio, níquel, aluminio, iodo y posiblemente vanadio, pero estos no se consideran nutrientes esenciales.

NUTRICION MINERAL

Las plantas, no pueden vivir solamente con el aire y el agua, sino que también necesitan cierto número de elementos químicos, que por lo general, le son proporcionados a expensas de las sustancias minerales del suelo y a través del sistema radicular. Aunque estos elementos constituyen solo una pequeña porción del peso anhidro de la planta, frecuentemente del orden del 2-10%, no dejan por ello de ser fundamentales para el bienestar del vegetal, lo que explica sean considerados como elementos esenciales para la nutrición.

El estudio de la nutrición mineral de las plantas trata de conocer su composición química, cuyo objetivo se puede alcanzar utilizando los dos métodos siguientes:

El análisis elemental, que determina la naturaleza y las proporciones en que se encuentran los elementos minerales en los tejidos vegetales.

El análisis inmediato, que trata de reconocer la naturaleza de los compuestos orgánicos que existen en las diversas partes de la planta.

Así mismo, es recomendable saber las proporciones de humedad y de materia seca en los órganos sometidos al análisis. La determinación del peso seco es indispensable, ya que el contenido de agua de los órganos vegetales está entre 6 y 90%; aunque para un órgano determinado puede variar también dependiendo de su estado de desarrollo.



Como promedio el protoplasma contiene 85 a 90% de agua, e inclusive los organelos celulares con un alto contenido en lípidos, como cloroplastos y mitocondrias tienen 50% de agua. El contenido de agua de las raíces expresado en peso fresco varía de 71 a 93%, el de los tallos de 48-94%, las hojas de 77 a 98%, los frutos tienen un alto contenido entre 84-94%. Las semillas de 5 a 11%, aunque las de maíz fresco comestible pueden tener un contenido de agua elevado del 85%. La madera fresca recién cortada contiene cerca de 50% de agua.

Al determinar las tasas de humedad se puede obtener por diferencia el peso de materia seca. Cuando se halla el peso seco colocando el tejido vegetal entre 100-105°C, se eliminan con el agua, esencias orgánicas volátiles, produciéndose un error casi despreciable, sin embargo es recomendable secar en la estufa a 75°C.

En las plantas el agua cumple múltiples funciones. Las células deben tener contacto directo o indirecto con el agua, ya que casi todas las reacciones químicas celulares tienen lugar en un medio acuoso. Para que un tejido funcione normalmente requiere estar saturado con agua, manteniendo las células turgentes. Todas las sustancias que penetran en las células vegetales deben estar disueltas, ya que en las soluciones se efectúa el intercambio de sustancias nutritivas entre células, órganos y tejidos. El agua como componente del citoplasma vivo, participa en el metabolismo y en todos los procesos bioquímicos. Una disminución del contenido hídrico va acompañado por una pérdida de turgencia, marchitamiento y una disminución del alargamiento celular, se cierran los estomas, se reduce la fotosíntesis, la respiración y se interfieren varios procesos metabólicos básicos. La deshidratación continuada ocasiona la desorganización del protoplasma y la muerte de muchos organismos.

El residuo que queda después que se seca un tejido vegetal, está constituido por compuestos orgánicos, elementos minerales y sus óxidos. Casi toda la materia orgánica se sintetiza a partir de CO_2 y H_2O mediante el proceso fotosintético. Los minerales y el agua son absorbidos primeramente del suelo a través del sistema radical; aunque bajo condiciones de sequía el agua de la niebla y el rocío pueden entrar a la planta a través de las hojas. La absorción foliar de los elementos minerales ha sido utilizada ventajosamente para suministrar a las plantas fertilizantes y algunos micronutrientes, asperjando las hojas con soluciones acuosas o suspensiones de nutrientes minerales.

Las plantas toman del aire que las rodea, el dióxido de carbono y el oxígeno. El movimiento continuo de la atmósfera asegura una composición bastante constante: nitrógeno 78% (v/v), oxígeno 21% (v/v), y anhídrido carbónico 0,03% (v/v), junto con vapor de agua y gases nobles. Además en el aire se encuentran impurezas gaseosas, líquidas y sólidas; constituidas principalmente

por SO_2 , compuestos nitrogenados inestables, halógenos, polvo y hollín. El contenido de anhídrido carbónico (CO_2), del aire está experimentando un aumento debido a actividades humanas que implican la utilización de combustibles fósiles, la quema de vegetación, así mismo la fabricación de cemento a partir de piedra caliza. El dióxido de carbono juega un papel importante en el aire, regulando la temperatura del planeta. La temperatura de la tierra aumenta al aumentar la concentración de CO_2 , ya que este gas absorbe la radiación solar infra roja, impidiendo que una parte del calor que llega a la tierra se escape hacia el espacio exterior, produciendo un efecto de invernadero.

Cada año las actividades industriales envían a la atmósfera 20000×10^6 Ton de CO_2 . Es probable que a mediados del siglo XXI la cantidad de CO_2 se duplique y el calentamiento global subsiguiente sea de 2 a 4°C. Esta eventualidad que podría llegar a ser catastrófica, es la que hay que temer si no se toman a tiempo las medidas económicas e industriales oportunas. El contenido de CO_2 ha pasado de 275 ppm (en volumen) en el año de 1800 a 345 ppm (en volumen) en 1985, es decir 0,345 litros de CO_2 por mil litros de aire. Los procesos degradativos de los suelos (erosión, salinización, disminución de la fertilidad de los suelos) disminuyen la cubierta vegetal, la productividad primaria, reducen la cantidad de biomasa que se incorpora al suelo y agotan el carbón del suelo; por lo que actualmente se propone como medidas para disminuir el efecto invernadero, el secuestro de carbón mediante la recuperación de suelos degradados, y el desarrollo de políticas para el control de erosión, a través de un buen manejo agrícola y prácticas de reforestación.

A comienzos del siglo XIX se puso en evidencia que las plantas contienen elementos minerales.

Se determinó que los elementos químicos esenciales para la planta son 17: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, potasio, magnesio, hierro, zinc, manganeso, cloro, cobre, boro, níquel y molibdeno. Uno de estos elementos, el nitrógeno aunque absorbido del suelo por las plantas, procede en última instancia del nitrógeno atmosférico, pero los elementos restantes se encuentran y proceden, por tanto, de los minerales que integran las rocas de la corteza terrestre.

Con pocas excepciones, los elementos químicos esenciales para el desarrollo vegetal parecen ser los mismos en todas las plantas superiores, y muchos de ellos son también necesarios para los demás organismos vivos. En determinados casos existen, sin embargo, algunos elementos que no parecen ser esenciales para aquellos y solo son para otro grupo de seres.

Utilizando las técnicas de la química analítica y micrométodos de análisis modernos se han identificado en los vegetales los elementos que se listan a continuación:

Tabla 1. Concentración usual de los elementos en las plantas superiores

MACROELEMENTOS	(POR 100 g DE MATERIA SECA) (g)
Carbono	45.0
Oxígeno	45.0
Hidrógeno	6.0
Nitrógeno	1.5
Calcio	0.5
Potasio	1.0
Azufre	0.1
Fósforo	0.2
Magnesio	0.2
Silicio	0,1

MICROELEMENTOS	MG POR 100 G DE MATERIA SECA	PARTE POR MILLON
Boro	2,0	20
Cloro	10,0	100
Cobre	0,6	6
Hierro	10,0	100
Manganeso	5,0	50
Molibdeno	0,01	0,1
Zinc	2,0	20
Níquel	0,3	3
Sodio	1,0	10

En una clasificación de los nutrientes un tanto arbitraria (figura 3), el nitrógeno, fósforo y potasio considerados como macronutrientes, se les denomina nutrientes primarios, mientras que el magnesio, calcio y azufre también macronutrientes, se les llama nutrientes secundarios.

Son considerados como macronutrientes porque se acumulan en la planta en cantidades considerables. El fierro, cobre, zinc, manganeso, molibdeno y boro se encuentran en la planta en cantidades mucho menores que los macronutrientes y se les conoce como micronutrientes u oligoelementos. Esta

difundida clasificación de los nutrientes según su abundancia en la planta tiene una validez relativa ya que no son pocos los casos en los cuales algunos macronutrientes pueden encontrarse en cantidades menores que ciertos micronutrientes.

Los nutrientes de la solución del suelo provienen de muchas fuentes, tales como disolución de los materiales primarios, descomposición de la materia orgánica, aplicación de fertilizantes, etc,. Una vez que está en solución, un nutriente puede sufrir muchas y variadas reacciones.

Los elementos químicos que actúan como nutrientes forman parte de biomoléculas estructurales o reguladoras, o actúan como cofactores de enzimas o en la regulación de los potenciales osmóticos. La acción de los micronutrientes se ejerce principalmente en la catálisis enzimática, ya sea como cofactores o como componentes de enzimas.

CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS

En una clasificación de los nutrientes un tanto arbitraria (figura 3), el nitrógeno, fósforo y potasio considerados como macronutrientes, se les denomina nutrientes primarios, mientras que el magnesio, calcio y azufre también macronutrientes, se les llama nutrientes secundarios

Macro nutrientes **N P K Ca Mg S**
Micro nutrientes → **Fe Cu Zn Mn Mo B**



Otros investigadores han propuesto que los elementos esenciales deberían clasificarse de acuerdo a sus funciones bioquímicas y fisiológicas (Mengel y Kirkby 2001). Estos investigadores, clasifican los elementos esenciales en cuatro grupos básicos:

Grupo 1

Nutrientes que forman parte de compuestos orgánicos: N y S

El N forma parte de aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, hexosaminas etc...

El S forma parte de la cisteína, cistina, metionina, coenzima A, tiamina, glutatión, biotina, 5-adenosilsulfato, 3-fosfoadenosina, etc...

Las plantas asimilan estos nutrientes mediante reacciones bioquímicas redox (de oxidación y reducción) para formar enlaces covalentes con el carbono (C) y crear compuestos orgánicos.

Grupo 2

Nutrientes importantes en el almacenamiento de energía o en la integridad estructural: P, Si, B

El P forma parte de los azúcares fosfato, ácidos nucleicos, nucleótidos, coenzimas, fosfolípidos, etc.... Tiene una importante función que implican al ATP (principal molécula de almacenamiento y transferencia de energía en la célula).

El Si se almacena como silicato en la pared celular de las plantas, contribuyendo a las propiedades mecánicas de las mismas, incluyendo la rigidez y la elasticidad.

El B forma complejos con el manitol, mananos y ácido poligalacturónico y con otros componentes de la pared celular. Está implicado en la elongación celular y en el metabolismo de los ácidos nucleicos.

Grupo 3

Nutrientes que aparecen en forma iónica: K, Ca, Mg, Cl, Mn, Na

El K es requerido como cofactor por más de 40 enzimas. Es el principal catión implicado en mantener la turgencia celular y la neutralidad eléctrica.

El Ca forma parte de la pared celular vegetal, es requerido como cofactor para algunas enzimas implicadas en la hidrólisis del ATP y de los fosfolípidos. Actúa como segundo mensajero en los procesos de regulación metabólica.

El Mg es requerido por muchas enzimas implicadas en la transferencia de grupos fosfato. Forma parte de la molécula de clorofila.

En Cl es requerido en las reacciones fotosintéticas implicadas en la evolución del oxígeno molecular (O₂).

El Mn es requerido para la actividad de algunas deshidrogenasas, descarboxilasas, kinasas, oxidasas (como la Mn-SOD), peroxidasas. También está involucrada en la evolución fotosintética del O₂.

El Na está implicado en la regeneración del fosfoenolpiruvato en plantas que presentan fotosíntesis tipo C₄ y CAM. Puede sustituir al K en alguna de sus funciones.

Grupo 4

Nutrientes implicados en reacciones Redox: Fe, Zn, Cu, Ni, Mo

El Fe forma parte de los citocromos, y de proteínas no héticas implicadas en fotosíntesis, fijación de N y rrespiración.

El Zn forma parte de las enzimas alcohol deshidrogenasa, glutámico deshidrogenasa, anhidrasa carbónica.

El Cu forma parte de las enzimas ascorbato oxidasa, tirosinasa, monoamino oxidasa, uricasa, citocromo oxidasa, fenolasa, lacasa y de la plastocianina.

El Ni es constituyente de la enzima uricasa. En las bacterias fijadoras de nitrógeno forma parte de las hidrogenasas.

El Mo forma parte de las enzimas nitrogenada, nitrato reductasa y xantina deshidrogenasa.

Hay otros elementos que no son considerados esenciales pero que también se han detectado en tejidos vegetales. Este es el caso del aluminio (Al), del selenio (Se) y del cobalto (Co). El Al se ha detectado a muy bajas concentraciones (desde 0,1 a 500 ppm) y su adición a disoluciones nutritivas a muy baja concentración puede estimular el crecimiento de las plantas (Marschner 1995). Muchas especies del género *Astragalus* acumulan Se, si bien no parecen tener un requerimiento especial por este nutriente. Sin embargo, se ha descrito que el Se actúa como cofactor de la enzima glutatión peroxidada, enzima antioxidante implicada en la eliminación de H_2O_2 y de peróxidos lipídicos. El Co forma parte de la cobalamina (vitamina B12 y sus derivados).

Después de eliminar el agua de los tejidos los macroelementos constituyen aproximadamente el 99,5% de la materia seca, mientras que los microelementos forman cerca del 0,03%. El contenido mineral de los tejidos vegetales es variable, dependiendo del tipo de planta, las condiciones climáticas prevalecientes durante el período de crecimiento, la composición química del medio y la edad del tejido entre otros. Por ejemplo, una hoja madura es probable que tenga un contenido mineral mayor que una hoja muy joven. Así mismo, una hoja madura puede tener un contenido mineral mayor que una hoja vieja, la que sufre una pérdida apreciable de minerales solubles en agua, al ser lavada por el agua de lluvia o mediante mecanismos de translocación hacia hojas jóvenes.

Las investigaciones sobre nutrición mineral han hecho muchos progresos al fabricarse compuestos químicos con un alto grado de pureza, al mismo tiempo de poner en práctica métodos de cultivos hidropónicos, con soluciones de composición química definida, que aseguren el crecimiento normal de las plantas y que permiten un control preciso del suministro de iones nutritivos a

las raíces. Probablemente Woodward en 1699, realizó los primeros experimentos en cultivo de plantas en medio líquido, sin usar ningún sustrato sólido. En 1804, de Saussure realizó uno de los primeros intentos de analizar los factores implicados en el cultivo de plantas en medios nutritivos, estableciendo la necesidad de suministrar nitrato a la solución de cultivo.

En el siglo XIX se realizó una actividad intensa en el campo del crecimiento de plantas en soluciones nutritivas. Investigadores como Sachs, Boussingault y Knop, realizaron experimentos que ayudaron a determinar que ciertos elementos eran importantes para el crecimiento de las plantas. Knop en 1865, publicó los resultados del efecto de la composición nutritiva sobre el crecimiento e inventó la fórmula de una solución nutritiva simple, basada en relaciones moleculares, que ha sido el punto de partida para modificaciones posteriores por otros autores. Se puso énfasis en mejorar la presión osmótica de la solución, el balance de los elementos, pero manteniendo una composición simple.

Tabla 2. Solución nutritiva de Knop

Compuesto	g/litro
KNO_3	0.2
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.8
KH_2PO_4	0.2
$\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.2
Fe PO_4	0.1

Las primeras formulaciones propuestas, se prepararon con sales impuras, contaminadas con trazas de otras sales. Desde que se había demostrado que un elemento como el hierro, se requería en pequeñas cantidades, fue lógico pensar que otros elementos debían ser esenciales en cantidades muy pequeñas. Se encontró que mientras se suministraban sales más puras, el crecimiento de las plantas era más pobre, esto explica el suceso obtenido al comienzo con la solución de Knop. Arnon y Hoagland(1940), propusieron una solución nutritiva que ha sido ampliamente aceptada, ya que basaron su composición elemental en las proporciones absorbidas por plantas de tomate, incluyendo también micronutrientes.

Tabla 3. Fórmula de la solución nutritiva de Hoagland

Solución patrón	A usar ml/litro
1 M K H ₂ PO ₄	1.0
1 M K NO ₃	5.0
1 M Ca(NO ₃) ₂ 4 H ₂ O	5.0
1 M Mg SO ₄ 7 H ₂ O	2.0
Solución patrón de micronutrientes (1)	g/litro
H ₃ BO ₃	2.86
Mn Cl ₂ 4 H ₂ O	1.81
Zn SO ₄ 7 H ₂ O	0.22
Cu SO ₄ 5 H ₂ O	0.08
H ₂ Mo O ₄ H ₂ O	0.02
Opcional	ml/litro
0,25 mM NiSO ₄ 6 H ₂ O	2,0
1M Na ₂ SiO ₃ 9 H ₂ O	1,0

(1) Se usa 1ml de micronutrientes por litro de solución nutritiva. El hierro se le suministra en forma de una solución al 0,5% de quelato de hierro, en una proporción de 2 ml por litro.

Una solución nutritiva sencilla se puede preparar diluyendo 1 gramo del fertilizante comercial 12-12-17/2, más 0,25 gramos de yeso (Ca SO₄. 2H₂O)), más 0,50 centímetros cúbicos de un fertilizante foliar (Bayfolan, Greenzit, Crescal etc.), por cada litro de solución nutritiva que se desea preparar (Cabrera y Verde, 1989)

Después de 194 años de investigaciones en el campo de las soluciones nutritivas todavía no se tienen los medios nutritivos apropiados para el crecimiento de muchas algas, hongos y otras plantas inferiores. A pesar de los grandes hallazgos en el área de la nutrición mineral, la pregunta acerca de cuáles elementos son esenciales para el crecimiento de las plantas no ha sido del todo resuelta y espera un mejoramiento en las técnicas experimentales. Paralelamente al desarrollo de los cultivos hidropónicos, se han realizado cada vez mejores análisis de plantas y se ha podido demostrar que las plantas contienen en cantidades variables todos los elementos conocidos presentes en la corteza terrestre.

CRITERIOS DE ESENCIALIDAD

La presencia de elementos nutritivos en las cenizas de una planta, no es indicador de las necesidades cualitativas y cuantitativas de los distintos elementos químicos para una planta fotoautótrofa, como ha sido demostrado por Arnon y Stout (1939) utilizando cultivos hidropónicos, al establecer tres criterios que debe cumplir un elemento para que pueda ser considerado como esencial. Inclusive si un elemento ayuda a mejorar el crecimiento o un proceso fundamental, no se considerará como esencial si no cumple con las tres reglas siguientes:

Regla 1. Un elemento es esencial si la deficiencia del elemento impide que la planta complete su ciclo vital. Todos los 19 elementos que aparecen en la tabla N° 1, cumplen con este criterio y deben ser suministrados a una planta para que germine, crezca, floree y produzca semillas.

Regla 2. Para que un elemento sea esencial, este no se puede reemplazar por otro elemento con propiedades similares. Ej. El sodio que tiene propiedades similares que el potasio, no puede reemplazar al potasio completamente; ya que trazas de potasio son esenciales en la solución.

Regla 3. El último criterio que debe cumplirse es que el elemento debe participar directamente en el metabolismo de la planta y su beneficio no debe estar relacionado solamente al hecho de mejorar las características del suelo, mejorando el crecimiento de la microflora o algún efecto parecido.

Las tres reglas anteriores pueden resumirse diciendo que: **Un elemento es esencial si la planta lo requiere para su desarrollo normal y que pueda completar su ciclo de vida .**

Como se mencionó anteriormente, la presencia de un elemento en altas concentraciones en una planta, no es un indicador seguro de su esencialidad; ya que existen plantas como **Astragalus, Stanleya y Lecythis** que son indicadoras de selenio. Estas plantas crecen en suelos con altas concentraciones de Se y por lo tanto son acumuladoras de éste elemento. Existen muchas plantas que acumulan sodio (**halófitas**), como algunas especies de mangles, sin embargo algunas plantas desérticas requieren sodio, tales como **Atriplex vesicaria**, de las regiones secas de Australia, y **Halogeton glomeratus** una maleza introducida en áreas salinas del oeste de Estados Unidos. El sodio es esencial para el **Amaranthus tricolor** (especie C-4), a bajas concentraciones de CO₂.

Las diatomeas necesitan sílice, no solo en su pared celular, sino también como oligoelemento metabólico, especialmente en la división celular.

Ha sido propuesto que los silicatos presentes en hojas e inflorescencias de gramíneas, impiden la herbivoría causada por animales e insectos; lo que representa un requerimiento ecológico, más que una necesidad bioquímica o fisiológica.

El cobalto es esencial para muchas bacterias, incluyendo las algas verde-azules. Es requerido para la fijación de nitrógeno por las bacterias presentes en los nódulos de las raíces de las leguminosas; así como por las bacterias de vida libre que fijan nitrógeno. El cobalto es un componente de la vitamina B₁₂, por lo que los organismos que lo requieren, incluyendo animales, sintetizan esa vitamina; mientras que en las plantas superiores y algas carentes de vitaminas B₁₂, el cobalto no es esencial.

En la lista de los elementos esenciales para las plantas superiores (Tabla 1), se ha incluido el níquel (Ni); debido a que Brown (1967), ha demostrado su esencialidad para el crecimiento de la cebada. El níquel ejerce efectos beneficiosos en el crecimiento del tomate, avena, trigo; así como en algunas algas. La esencialidad del níquel (Ni^{2+}) está asociada a la enzima ureasa, que cataliza la hidrólisis de la urea, produciendo CO_2 y NH_4^+ ; así mismo se anota el silicio(Si) requerido por diatomeas, Equisetáceas y gramíneas y el sodio(Na) esencial en plantas con metabolismo ácido de crasuláceas y C4. Cuando se presentan síntomas agudos de deficiencia, es importante conocer si el elemento se recicla de hojas viejas a las jóvenes. Si un elemento es inmóvil la deficiencia aparece primero en hojas jóvenes, mientras que si es móvil en el interior de la planta la deficiencia se observa en hojas viejas (Tabla 4.).

Tabla **4.**
Clasificación de los elementos minerales según su movilidad en el interior de la planta y su tendencia a ser re-translocado durante la deficiencia.

Móvil	Inmóvil
Nitrógeno	Calcio
Potasio	Azufre
Magnesio	Hierro
Fósforo	Boro
Cloro	Cobre
Sodio	
Zinc	
Molibdeno	

Una vez que los elementos minerales son absorbidos por las raíces, éstos son transportados (translocados) a otras partes de la planta, donde van a ser usados en diferentes funciones biológicas. Otros organismos, como los hongos micorrícicos y las bacterias fijadoras de nitrógeno pueden participar con las raíces en la adquisición de nutrientes minerales.

Denominamos “Nutrición Mineral” a la disciplina que se dedica al estudio de cómo las plantas obtienen y usan los nutrientes minerales. Esta área de investigación es muy importante en la agricultura moderna y en la protección medioambiental. Un alto rendimiento agrícola depende de una adecuada fertilización con nutrientes minerales. De hecho, el rendimiento de la mayor parte de los cultivos vegetales aumentan de forma lineal con la cantidad de fertilizantes que pueden absorber (Loomis y Connor 1992).

Para satisfacer la incrementada demanda de alimentos, el consumo de elementos minerales primarios usados en los fertilizantes (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) se

ha incrementado con el paso de los años. Por ejemplo, en el año 1960 se usaron 30 millones de toneladas, siendo este consumo de unas 170 toneladas en 2008 (www.faostat.fao.org). Sin embargo, las plantas utilizan menos del 50% de los fertilizantes que se aplican en el suelo (Loomis y Connor 1992). Los nutrientes no absorbidos por la planta son lixiviados llegando a las aguas superficiales y/o subterráneas, pueden quedar unidos a las partículas del suelo y pueden contribuir a un aumento de la contaminación ambiental.

Sólo ciertos elementos son esenciales para las plantas. Un elemento esencial se define como un elemento que es un componente intrínseco en la estructura o en el metabolismo de una planta y cuya ausencia causa anomalías, en el crecimiento, desarrollo y/o reproducción de la planta (Epstein y Bloom 2005). Por lo tanto, si a una planta se le proporciona todos los elementos esenciales, así como agua y la luz del sol, será capaz de sintetizar todos los compuestos que necesita para su crecimiento normal.

I. LEY DEL MINIMO, LEY DEL MAXIMO Y LEY DE LOS INCREMENTOS DECRECIENTES.

Ley del Mínimo (Liebig)

La insuficiencia de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficiencia de los otros elementos y por consiguiente disminuye el crecimiento de las cosechas. Ej.: El P puede llegar a ser limitante aun cuando se fertiliza con N y K, si este no está en las cantidades mínimas requeridas por el cultivo.

Ley del máximo:

La cantidad de fertilizante a aplicar se puede aumentar siempre y cuando este aumento signifique un incremento en los rendimientos y que este aumento de rendimiento tenga un valor adicional al del fertilizante aplicado, por ello el máximo rendimiento económico puede no coincidir con el máximo rendimiento fisiológico. Si se hace un aumento de aplicación sin lograr un aumento ni disminución de la cosecha, o en exceso que no hizo efecto se le conoce como consumo de lujo o zona de consumo de lujo. Voison la enuncia así:

El exceso de un elemento asimilable en el suelo reduce la eficacia de los otros elementos y por consiguiente disminuye el rendimiento de la cosecha.

Existen elementos minerales que pueden estimular el crecimiento de las plantas pero que no están comprendidos dentro de los criterios de esencialidad mencionados anteriormente. Algunos de ellos resultan esenciales solamente para algunas especies o bajo ciertas condiciones muy especiales. Estos elementos usualmente son definidos como elementos benéficos y aplica a elementos como: sodio, cloro, silicio, cobalto, vanadio, etc.

II. FUNCION DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B y Cl.



Fotografía 2: Aspecto de las raíces de plantas de bolaina blanca cultivado en una solución completa de Hoagland y Arnon.

Una de las especies con la que el ICRAF, viene trabajando en el campo de la domesticación, es la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.), especie con grandes potencialidades en la amazonia peruana, la cual fue indicada como especie prioritaria para la cuenca del río Aguaytía (Sotelo & Weber, 1997). Con estos antecedentes se instalaron los ensayos demostrativos con material genético seleccionado.

La OIMT/CNF/INRENA (1996), demuestra que la bolaina blanca tiene un enorme potencial para el desarrollo de productos madereros con alto valor agregado para los mercados nacionales e internacionales, por sus mejores respuestas en los componentes tecnológicos, económicos y demanda de los mercados. Razones que sustentan la necesidad de realizar estudios sobre productividad de esta especie.

A pesar del tiempo transcurrido existe un reducido número de áreas cultivadas de esta especie, en comparación con la extracción masiva que se viene haciendo de esta planta. Se hace necesario crear condiciones de siembra y cultivo y evitar la extracción indiscriminada.

Cultivo de ají charapita (*Capsicum frutescens* L.) en Pucallpa". Ucayali, Perú – 2013.

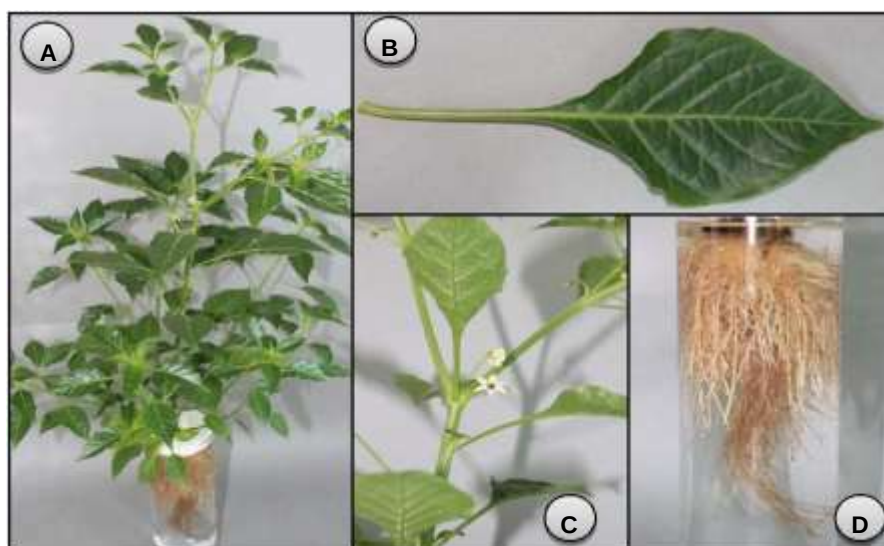


Foto 1. A) Planta (testigo) B) Hoja, C) Tallo y flores, D) Raíces; del tratamiento con solución nutritiva completa en ají charapita "*Capsicum frutescens* L."



Fotografía 1: Aspecto de la Hoja de sachá inchi cultivado en una solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon.



Fotografías3: Aspecto de las hojas de camu camu cultivado en una solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon.



Fotografías 4: Aspecto de las raíces de plantas de camu camu cultivado en una solución completa de Hoagland y Arnon.

MACRONUTRIENTES

De la tabla 1 podemos apreciar que existen nueve elementos a saber: C, O, H, N, Ca, K, S, P y Mg, que son requeridos por las plantas en grandes concentraciones, denominados macroelementos. Se ha estimado que las concentraciones apropiadas de los macroelementos minerales para el crecimiento óptimo varía de aproximadamente 1 mg/g para el azufre ($30\mu\text{mol}$ por gramo de peso seco de tejido) a 15 mg/g para el nitrógeno ($100\mu\text{mol}$ por gramo de peso seco de tejido). Los estimados de los requerimientos de carbono, oxígeno e hidrógeno varían de 450 mg/g por gramo de peso seco) a 60 mg/g por gramo de peso seco).

En este texto no hacemos referencia detallada de los elementos carbono, hidrógeno y oxígeno, ya que estos forman parte de los compuestos orgánicos como son los carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, metabolitos secundarios, etc.; aunque en las proteínas y ácidos nucleicos participa conjuntamente con estos el elemento nitrógeno.

Nos hemos referidos anteriormente al hecho de que las plantas toman al oxígeno y el anhídrido carbónico del aire, mientras que el agua es absorbida por las raíces generalmente del suelo.

NITROGENO

NITROGENO

Símbolo: N, un elemento no metálico del grupo Va de la tabla periódica, siendo un gas incoloro, inodoro e insípido, es el elemento más abundante de la atmósfera terrestre, representando el 78% por volumen y es un componente de toda la materia viva. Representa cerca del 18% del peso de las proteínas.

Etimología del nombre y del símbolo: El químico francés Antonio Lavoiser lo llamó azote, debido a su incapacidad para soportar la vida, del Griego ZOE vida. El nombre actual fue acuñado en 1790 y la palabra nitro más el sufijo -gen, que significa formador de nitro, para indicar la presencia del elemento en el nitro (nitrato de potasio, KNO_3).

Número atómico: 7

Peso atómico: 14,0067

Punto de fusión: $-210^{\circ}C$

Punto de ebullición: $-195,8^{\circ}C$

Densidad (1 atm, $0^{\circ}C$): 1,2506 g/l

Estado de oxidación común: -3, +3, +5

Estado natural: En forma combinada se encuentra en el nitro (KNO_3) y nitrato de Chile ($NaNO_3$); en la atmósfera, lluvia, suelo y guano en la forma de amonio o sales de amonio, en el agua de mar como iones de amonio, nitrito y nitrato. En los organismos vivos formando complejos orgánicos como proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, constituyendo parte de todo el protoplasma. El nitrógeno orgánico ocurre casi exclusivamente en el estado reducido, donde forma tres enlaces covalentes y posee un par de electrones no compartidos.

Características generales: Las plantas obtienen el nitrógeno principalmente del suelo, donde se encuentra bajo la forma orgánica, la que no es disponible

inmediatamente para la planta, sino después de un proceso de mineralización catalizada por los microorganismos del suelo, el cual procede en la dirección siguiente: nitrógeno orgánico → amonio → nitrito → nitrato, la cantidad de nitrato producida finalmente depende de la disponibilidad de material carbonáceo descomponible. Si la relación carbono: nitrógeno (C/N) es alta aparece muy poco o casi nada de nitrógeno como nitrato.

Las cantidades de nitrógeno en los suelos minerales es bastante pequeña, variando desde trazas hasta 0,5% en los suelos superficiales, disminuyendo con la profundidad. La cantidad de nitrógeno depende también del tipo de suelo, de la temperatura y pluviosidad. El clima juega un papel dominante en la determinación del estado de nitrógeno de los suelos. En regiones de condiciones de humedad uniforme y vegetación comparable, el contenido promedio de nitrógeno y de materia orgánica del suelo decrece exponencialmente a medida que aumenta la temperatura anual.

El nitrógeno disponible en el suelo se encuentra principalmente como nitrato.

La capa arable del suelo puede tener un contenido de nitrógeno bajo la forma de nitrato entre 2 a 60 ppm. Este contenido de nitrato varía con la estación, ya que es muy soluble en agua y las aguas de lluvia o riego lo pueden arrastrar hacia el subsuelo. Las plantas pueden absorber el nitrógeno también bajo la forma de ión amonio. El nitrógeno absorbido como ión amonio es rápidamente reducido a ión nitrito mediante la acción de la enzima nitrato reductasa que contiene molibdeno (Mo). La transformación del nitrato a ión amonio es catalizada por la enzima nitrito reductasa.

La principal diferencia entre el nitrógeno en forma de ión amonio y nitrato, es que todo el nitrato del suelo se encuentra disuelto en la solución del suelo; mientras que si el suelo contiene mucha arcilla y humus, gran parte del ión amonio, se encuentra como catión intercambiable y no en solución. Quizás por esta razón un fertilizante en forma de nitrato actúa mucho más rápido que uno en forma de amonio. Se estima en suelos naturales una lixiviación de 5 a 20%. La irrigación y la aplicación de fertilizantes aumentan las pérdidas por lixiviación, llegando a alcanzar magnitudes hasta de 80%.

Ciertas plantas pertenecientes a la familia de las leguminosas tienen la capacidad de asimilar el nitrógeno atmosférico, por las raíces al formar una asociación simbiótica con bacterias del género **Rhizobium**. Así mismo, existen una cantidad de plantas no leguminosas que fijan el nitrógeno atmosférico por las raíces, como por ejemplo: **Casuarina, Myrica, Alnus, Ceanothus, Coriaria, Dryas**; otras lo hacen por las hojas como **Ardisia, Pavetta, Psychotria, Azolla, Gunnera**. Algunas especies de Cycadaceae,

Gunneraceae, líquenes y el helecho acuático **Azolla**, fijan el nitrógeno mediante una asociación con algas verde-azules (Cianofíceas).

Es interesante mencionar, la especie **Sesbania rostrata**, planta perteneciente a la familia Leguminosae que tiene la particularidad de presentar asociada con las raíces, bacterias del género **Rhizobium**, además de poseer nódulos en el tallo repletos de bacterias **Azorhizobium caulinodans** fijadoras de nitrógeno.

El nitrógeno, ya sea absorbido del suelo o fijado del aire, se incorpora a la planta en forma de aminoácidos, primeramente en hojas viejas. A medida que aumenta el suministro de nitrógeno, las proteínas sintetizadas a partir de los aminoácidos, se transforman en crecimiento de las hojas, aumentando la superficie fotosintética. Se ha encontrado una correlación entre la cantidad de nitrógeno suministrado y el área foliar disponible para la fotosíntesis, este efecto se puede evidenciar por el aumento de la síntesis proteica y del protoplasma.

Síntomas de deficiencia: Las plantas que crecen a bajos niveles de nitrógeno son de color verde claro y muestran una clorosis general, principalmente en hojas viejas. Las hojas jóvenes permanecen verdes por períodos más largo, ya que reciben nitrógeno soluble de las hojas más viejas. Algunas plantas como el tomate y el maíz, exhiben una coloración purpúrea en los tallos, pecíolos y cara abaxial de las hojas, debido a la acumulación de antocianinas. La relación vástago/raíz es baja, ya que predomina el crecimiento radicular sobre el foliar. El crecimiento de muchas plantas deficientes en nitrógeno es raquítico.



Cuando la planta muestra una deficiencia de nitrógeno, esta tiene un color que va de verde claro a verde amarillento. En las hojas más viejas se observa un amarilleamiento que empieza en la punta de las hojas y se expande a lo largo de la nervadura. Se inhibe el crecimiento de los brotes y raíces, mientras el tamaño de las plantas permanece reducido. El suministro de nitrógeno depende de la densidad del cultivo y del contenido de $N_{\text{mín}}$ en el suelo. Es útil una dosis dividida de N a fin de minimizar el lavado de nitrógeno. Esto es importante en los suelos ligeros y arenosos ya que estos son considerados “con riesgo de lavado de nutrientes”

Exceptuando la sequía, no hay otra deficiencia que presente unos Síntomas tan dramáticos como la de nitrógeno. La clorosis es el síntoma más característico y que debido a la gran movilidad de este elemento, aparece primero en las hojas viejas.

En monocotiledóneas la clorosis comienza en la punta de las hojas y avanza hacia la base. En casos de extrema deficiencia todas las hojas aparecen amarillentas. Frecuentemente se forman pigmentos antociánicos como en las tomateras, en las que puede observarse una coloración púrpura en los pecíolos y nervios de las hojas.



Fotografía 1: Aspecto de la Hoja de Uña de Gato (*Uncaria tomentosa*) cultivado en una solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon.



Fotografía 20: Vista de la parte apical de planta de uña de gato (*Uncaria tomentosa*) cultivada en solución nutritiva sin N.

Solución nutritiva sin Nitrógeno (- N).- Clorosis generalizada que empieza por las hojas más viejas, hacia las más jóvenes, con apariciones de pigmentos de color rojo anaranjado o marrón anaranjado, las hojas al madurar presentan necrosis en los ápices y bordes en forma irregular, la hojas inferiores amarillas se secan presentando un color pardo claro, hojas nuevas pequeñas a medianas, hojas mas tiernas extendidas y pequeñas, color verde claro en la

parte de la base y pigmentaciones de color marrón y anaranjado, empezando de los ápices, tallos con entrenudos cortos y delgados, cloróticos con manchas necróticas o no, tallos y ramas atacados por insectos y enfermedades, raíces largas y poco abundantes (Foto 19, 20, 21, y 22).



Fotografías 4: Plantas de bolina blanca cultivadas en solución nutritiva sin N.

Clorosis generalizada que empieza por las hojas más viejas, hacia las más jóvenes, con apariciones de pigmentos de color rojo anaranjado o marrón anaranjado, en estado más avanzado las hojas al madurar presentan necrosis en los ápices y bordes en forma irregular, la hojas inferiores amarillas se secan presentando un color pardo claro, hojas nuevas pequeñas a medianas, hojas más tiernas extendidas y pequeñas, color verde claro en la parte de la base y pigmentaciones de color marrón y anaranjado, empezando de los ápices, tallos con entrenudos cortos y delgados, cloróticos con manchas necróticas o no, raíces largas y poco abundantes (Ver fotografías 4,5 y 6).



Fotografía 19: Aspecto de una planta de sachá inchi cultivada en solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon versus una planta cultivada en solución nutritiva sin N.

Este se presentó inicialmente en forma de clorosis generalizada que empieza por las hojas más viejas, hacia las más jóvenes, este síntoma se

observó aproximadamente a los 16 días después de aplicarse la solución nutritiva sin N, siendo el segundo en manifestarse después del T8 que solo contenía agua desionizada, asimismo se puede observar la presencia de ligeras manchas necróticas cercanas al ápice de las hojas, conforme los síntomas se van agudizado la planta termina por dejar de crecer, las hojas se presentan cada vez más pequeñas y más cloróticas, casi no se observa presencia de brotes, ni la presencia de entrenudo y nudos entre el tallo y si se presentan son muy cortos y delgados. Las raíces se muestran largas y poco abundantes ver foto 16.



Fotografías 8: Aspecto de plantas de camu camu cultivadas en solución nutritiva sin N.

Clorosis generalizada que empieza por las hojas más viejas, hacia las más jóvenes, con apariciones de pigmentos de color rojo anaranjado o marrón anaranjado, en ápices y bordes en estado más avanzado, las hojas al madurar presentan necrosis en los ápices y bordes en forma irregular, la

hojas inferiores amarillas se secan presentando un color pardo, hojas nuevas pequeñas a medianas, hojas más tiernas extendidas y pequeñas. Tallos con entrenudos cortos y delgados, cloróticos con manchas necróticas. Raíces largas y poco abundantes (Ver fotografías 4, 5 y 6).

La deficiencia de nitrógeno en ***Pinus caribaea***, se caracteriza por un amarillamiento simultáneo y generalizado en toda la planta. La clorosis se observan en las acículas simples, extendiéndose luego a los fascículos. Las acículas inferiores presentan una coloración que varía de rojo tenue a intenso y las superiores con desecamiento apical. Las plantas son raquílicas y achaparradas.

Planta normal y deficiente de



Proporción aproximada en las plantas: Varía entre 1 a 3,5% en base al peso seco. El contenido de este elemento que puede dar lugar a deficiencias es variable, en algunas plantas contenidos menores al 2% pueden resultar en la aparición de clorosis en las hojas, ejemplo son aguacate, manzano, naranjo y pino. El contenido de nitrógeno en acículas de ***Pinus caribaea*** que crecen en una solución completa es de 1.80%, mientras que las acículas de las plantas deficientes muestran un contenido de nitrógeno de 0,53%.

Tal vez la función más reconocida del nitrógeno en la planta es su presencia obligada en los aminoácidos y por ende en la estructura de las moléculas de proteínas en donde se le encuentra en una cantidad que va del 16 al 18%. El nitrógeno también es encontrado en moléculas orgánicas muy importantes como las purinas, pirimidinas, porfirinas y en las coenzimas. Las purinas y pirimidinas son encontradas en los ácidos nucleicos DNA y RNA, esenciales para la síntesis de proteínas.

La estructura porfirínica es encontrada en compuestos metabólicamente muy importantes como son los pigmentos clorofílicos y los citocromos moléculas esenciales en la fotosíntesis y la respiración. Las coenzimas son compuestos indispensables para el funcionamiento de muchas enzimas. Otro tipo de compuestos que incluyen nitrógeno en su estructura molecular son las vitaminas.

El nitrógeno es el elemento más importante y abundante en la tierra. La gran reserva de nitrógeno esta en la atmósfera, que contiene casi un 78% de N_2 . Esta forma es muy poco reactiva y no resulta apta para ser metabolizada directamente por las plantas, ni por la mayoría de los seres vivos. La mayor parte del nitrógeno atmosférico es fijado en el suelo por los microorganismos fijadores de nitrógeno. Existen otros microorganismos especializados que se encargan de mineralizarlo hacia amonio y oxidarlo luego a nitrato.

Generalmente el nitrógeno es absorbido por las plantas como iones nitrato (NO_3^-) o como iones amonio (NH_4^+), aunque el nitrato es rápidamente reducido, probablemente a amonio por medio de una enzima que contiene molibdeno.

La mayor parte del amonio tiene que ser incorporado a compuestos orgánicos en la raíz, mientras que el nitrato tiene una buena movilidad a través del xilema y puede ser almacenado en las vacuolas de células de la raíz, tallos y en órganos de almacenamiento. La acumulación de nitratos en las vacuolas es de considerable importancia para el balance cationes-aniones y para el proceso de osmorregulación.

En algunos cultivos comerciales se aplica una solución de urea a las hojas de las plantas como una manera de suministrar un suplemento de nitrógeno a las plantas. La urea no es absorbida por las raíces de las plantas en grandes cantidades, ya que se hidroliza y se transforma en nitrógeno amoniacal en la mayoría de los suelos. Los iones amonio y parte de los carbohidratos sintetizados en las hojas son convertidos a aminoácidos en las mismas hojas verdes; por esta razón tan pronto como el nitrógeno asciende, las proteínas producidas en exceso permiten a las hojas de la planta alcanzar un mayor tamaño y con ello una mayor superficie para el proceso fotosintético.

Las proteínas en las células vegetales pueden ser funcionales o estructurales, siendo las primeras las que se encuentran en una mayor proporción. Las proteínas funcionales no son formas estables, por lo que constantemente están rompiéndose y reformándose.

ASIMILACIÓN DEL NITRATO.

La reducción de nitrato a amonio es llevada a cabo por dos enzimas: la nitrato reductasa, la cual reduce el nitrato a nitrito; y la nitrito reductasa, la cual reduce el nitrito a amonio.

La nitrato reductasa es un complejo enzimático con un peso molecular de 200,000 en plantas superiores y de 500,000 en plantas inferiores. Este complejo enzimático contiene varios grupos prostéticos incluyendo FAD, citocromos y molibdeno. Se localiza en el citoplasma y requiere de NADH o NADPH como donadores de electrones.

Como sería de esperarse, la actividad de la nitrato reductasa es muy baja en plantas que crecen en suelos deficientes en molibdeno.

La enzima nitrito reductasa tiene un bajo peso molecular y en las hojas se encuentra asociada a los cloroplastos y en las células de la raíz se asocia con proplastidios. En las hojas verdes el donador de electrones (NADH o NADPH) reduce a la ferredoxina, la cual es generada en la luz por el fotosistema I y en la obscuridad vía respiración.

Síntomas de deficiencia de nitrógeno

Las plantas con deficiencias de nitrógeno generalmente presentan un desarrollo raquítrico que produce plantas anormalmente pequeñas, con tallos y ramas delgadas, hojas pequeñas. La floración se adelanta significativamente siendo esta muy escasa y con un gran porcentaje de flores abortadas. Cuando los amarran, su desarrollo se ve muy limitado por lo que los frutos son pequeños. Los síntomas anteriores son como respuesta de la planta a una reducida síntesis de proteínas tanto estructurales como funcionales.



Quizás el primer síntoma que muestra una planta que le falta nitrógeno sea la aparición de una clorosis (amarillamiento) de las hojas inferiores que cuando se secan adquieren un color pardo claro como en la figura anterior en plantas de tabaco. En cereales las hojas empiezan a secarse por los ápices y continúa a toda la hoja por la nervadura central.

Debido a la alta movilidad y a la alta solubilidad que tiene el nitrógeno, los síntomas aparecen primero en las hojas viejas, sin embargo, si la deficiencia

continúa, el aspecto colrótico avanza hacia arriba de la planta y llega un momento en que toda la planta presenta los síntomas descritos.

CALCIO

Símbolo: **Ca**, un elemento químico que pertenece a los metales alcalino-terreos del grupo IIa de la tabla periódica, es el elemento metálico más abundante en el cuerpo humano y el quinto elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre. Fue muy usado por los antiguos en la forma de cal.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva del latín Calx, que significa cal (CaO).

Número atómico: 20

Peso atómico: 40,08

Punto de fusión: 842-848°C

Punto de ebullición: 1487°C

Densidad: 1.55 g/cm³ a 20°C

Estado de oxidación: +2

Estado natural: El calcio libre no se encuentra en forma natural, sino formando compuestos que constituyen el 3,63% de las rocas ígneas y 3,22% de la corteza terrestre. Se encuentra como calcita en la piedra caliza, tiza, conchas de ostras y corales. Los minerales primarios de calcio más importantes son la anortita ($\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$) que tiene entre 7-14% de Ca y los piroxenos del tipo Ca Mg (Si O_3)₂ con 9 a 16% de Ca. En adición, pequeñas cantidades de calcio pueden estar presentes como borosilicatos. La calcita puede ser la fuente dominante en algunos suelos y la dolomita con 22% de Ca, en otros. La apatita, un compuesto isomorfo de . Está presente en pequeñas cantidades en rocas ígneas y en muchos suelos, tiene entre 38 - 39% de Ca. Otros fosfatos minerales son el hidrofosfato de calcio, , el ortofosfato de calcio, , que existen principalmente en suelos calcáreos y en suelos con altos pH, ricos en Ca intercambiable. Así mismo ciertos minerales arcillosos como illita, vermiculita y montmorillonita contienen pequeñas cantidades de calcio.

En muchos suelos dentro de las regiones áridas y semiáridas, la calcita y dolomita, aunque menos abundantes son las principales fuentes minerales de calcio. En los suelos chernozem, desértico y marrón castaño, el Ca se precipita y acumula como carbonato, debido a la gran evaporación. La calcita y aragonito están entre las primeras sales que se precipitan cuando las aguas

salinas se evaporan. En suelos superficiales y subsuelos localizados en regiones áridas se puede presentar el yeso o sulfato de calcio, CaSO_4 . El calcio que es más utilizable por la nutrición de la planta incluye las fracciones soluble en agua e intercambiables. En suelos fértiles el calcio intercambiable puede constituir de 70 a 80% de las bases cambiables totales. Se determina generalmente lavando el suelo con sales neutras.

Características generales: El calcio es acumulado por las plantas, especialmente en las hojas donde se deposita irreversiblemente, es un elemento esencial para el crecimiento de meristemas y particularmente para el crecimiento y funcionamiento apropiado de los ápices radicales. La fracción principal de este Ca^{2+} está en las paredes celulares o en las vacuolas y organelos como sales de ácidos orgánicos, fosfato o fitato y puede ser especialmente alta en plantas sintetizadoras de oxalato. El oxalato de calcio, es un producto insoluble que se deposita en la vacuola, esto constituye quizá una función antitóxica. El calcio es un componente de la lámina media, donde cumple una función cementante como pectato cálcico.

El Ca^{2+} tiene la función de impedir daños a la membrana celular, evitando el escape de sustancias intracelulares, cumpliendo un papel estructural al mantener la integridad de la membrana. Es curioso constatar que, ciertas algas y hongos parecen no tener necesidad de calcio o a menos que el calcio no actúe sino como un oligoelemento. Se piensa que el calcio actúa como un regulador de la división y extensión celular, a través de la activación de una proteína modulada por Ca^{2+} (calmodulina).

El calcio parece actuar modulando la acción de todas las hormonas vegetales, regulando la germinación, el crecimiento y senescencia. Retarda la senescencia y abscisión de hojas y frutos. El ión calcio juega un papel importante en el desarrollo vegetal y regulación metabólica; un aumento en la concentración del calcio citoplasmático, activa la enzima 1,3 Ca^{2+} sintetasa, situada en la membrana plasmática, dando lugar a la formación de callosa.

El ión calcio libre, se reconoce actualmente como un regulador intracelular importante de numerosos procesos bioquímicos y fisiológico. El modo de acción del calcio sobre mecanismos que depende de Ca^{2+} , se puede resumir en tres partes:

- 1) La concentración citoplasmática de Ca^{2+} libre es baja (menos de un micromol) y está bajo control metabólico; 2) La concentración de calcio citoplasmático puede ser regulada por varias señales intra o extracelular; 3) El calcio citoplasmático se une a proteínas receptoras (calmodulinas), que son activadas y capaces de modificar enzimas, otras actividades metabólicas como la mitosis, el crecimiento del ápice, la corriente

citoplasmática, la germinación de las esporas inducida por los fitocromos, la formación de yemas en los musgos causada por la citoquinina, la secreción de la IAA estimulada por la giberelina y el transporte polar de IAA . Ciertas actividades enzimáticas dependen de una calmodulina regulada por calcio, como son la NAD quinasa (citoplasma), NAD quinasa (membrana externa mitocondrial), NAD quinasa (membrana externa del cloroplasto), Ca^{2+} (membrana plasmática), quinasas proteicas (soluble y unida a membranas). Se puede concluir que el calcio actúa como un segundo mensajero en bioregulación, vía calmodulina, regulada por calcio.



Síntomas de deficiencia: La deficiencia de calcio está generalmente asociada a efectos de acidez del suelo y muchas veces es difícil diferenciar una de la otra. El calcio se absorbe como el catión divalente Ca^{2+} y es casi inmóvil y es por esto que las deficiencias se observan primeramente en los tejidos jóvenes. Las deficiencias de calcio parecen tener dos efectos en la planta: causan una atrofia del sistema radical y le dan una apariencia característica a la hoja. Las hojas se muestran cloróticas, enrolladas y rizadas. Se presentan raíces pobremente desarrolladas, carentes de fibras y pueden tener apariencia gelatinosa. Los síntomas se observan cerca de los ápices de crecimiento de raíces y tallos. La carencia de calcio también inhibe la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico.

Los síntomas de deficiencia en calcio son fáciles de observar y muy espectaculares. Las regiones meristemáticas de los tallos, hojas y raíces son atacadas fuertemente y pueden acabar muriendo, cesando el crecimiento de estos órganos. Las raíces pueden acortarse, en los bordes de las hojas jóvenes aparece clorosis seguida de necrosis. También es un síntoma característico la malformación de las hojas jóvenes, siendo el síntoma más fácil de reconocer la forma de gancho que adquieren las puntas de las hojas. Debido a la inmovilidad del calcio dentro de la planta los síntomas aparecen primero en las hojas jóvenes. Las deficiencias de calcio son más frecuentes en los suelos ácidos, de tal forma que la deficiencia en este elemento va acompañada por niveles tóxicos de iones hidrógeno y de iones de metales pesados como aluminio y manganeso que son solubles en medio ácido. Las raíces dañadas por la deficiencia de calcio son más susceptibles a la infección de bacterias y hongos.



Fotografía 13: Planta de uña de gato cultivada en solución nutritiva sin Ca.

hojas jóvenes apicales que al principio suelen estar curvadas luego son afectadas con necrosis y con deformaciones en los bordes, hojas ligeramente enrolladas y curvadas hacia abajo con limbo de color verde oscuro o también con clorosis internerval y áreas necróticas entre las nervaduras, con nervadura principal de color verde claro y secundarias de color verde; ausencia de pigmentos de color púrpura en el tallo, y escasa pigmentación en las hojas; a pesar de ello los tallos de longitud y diámetros de apariencia casi normales, con ausencia de plagas, ramas plagiotrópicas apicales con ápices necrosados, la mayoría de las yemas laterales permanecen dormantes; raíces normalmente largas y medianamente abundante (Foto 13, 14, 15, 16,17 y 18).



Fotografías 14: Aspectos de la planta de bolaina blanca de plantas cultivadas en solución nutritiva sin Ca.

hojas jóvenes apicales que al principio suelen estar curvadas luego son afectadas con necrosis y con deformaciones en los bordes, hojas ligeramente enrolladas y curvadas hacia abajo con limbo de color verde oscuro o también con clorosis internerval y áreas necróticas entre las nervaduras, con nervadura principal de color verde claro y secundarias de color verde; ausencia de pigmentos de color púrpura en el tallo, clorosis generalizada y escasa pigmentación en las hojas; tallos cortos, pocas ramas plagiotrópicas, ápices necrosados, la mayoría de las yemas laterales permanecen dormantes; raíces medianamente largas y abundantes (ver fotografías 14).



Fotografía 15: Aspecto de una planta cultivada en solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon versus una planta cultivada en solución nutritiva sin Ca.

Los síntomas se presentaron inicialmente en las hojas jóvenes apicales que al principio suelen estar curvadas, ligeramente enrolladas y curvadas hacia abajo dirigiéndose el ápice en dirección al peciolo, asimismo toda la lámina termina deformándose, notándose una ligera clorosis internerval, este síntoma se observó aproximadamente a los 25 días después de aplicarse la solución nutritiva sin Ca, y se presenta en el tercio superior de la planta, posteriormente cuando los síntomas se agudizan se observa necrosis de la zonas meristematicas provocando muerte regresiva en tallos y ramas presentándose pocos brotes y entrenudos muy cortos síes que presentan y finalmente las plantas que presentan los síntomas más severos mueren a los 80 días después de aplicarse la solución nutritiva sin Ca.

Las raíces de estas plantas también se ven seriamente afectadas notándose deformación de los puntos de crecimiento de las raíces absorbentes, mostrándose estas cortas y poco abundantes.



Fotografías 16: Aspectos de las hojas de plantas de camu camu cultivadas en solución nutritiva sin Ca.

hojas jóvenes apicales al principio con clorosis internerval o generalizada, luego son afectadas con necrosis y con deformaciones en los bordes, hay abarquillamiento de hojas (ligeramente enrolladas y curvadas hacia abajo). Con nervadura principal de color verde claro y secundarias de color verde; ausencia de pigmentos de color púrpura en el tallo; clorosis generalizada y escasa pigmentación en las hojas; tallos cortos, pocas ramas, las que se forman se necrosan parte del limbo o por los ápices, hay muerte regresiva, por aparente toxicidad de algún elemento. Raíces medianamente largas y poco abundantes (ver fotografías 14).



La deficiencia de calcio en **Pinus caribaea**, se caracteriza porque las acículas presentan un color verde pálido, poseen áreas necróticas en la parte apical, subapical, basal o intermedia, de extensión variable que está asociada a exudación de resina. Algunas veces el pice de la acícula se dobla en forma de gancho. Los fascículos de acículas se pueden enrollar apicalmente, asimismo las acículas jóvenes se pueden retorcer sobre su eje longitudinal, semejando

un tirabuzón. En fases avanzadas la deficiencia de calcio provoca la muerte de los meristemas apicales del tallo principal y de las ramas laterales.



Proporción aproximada en las plantas: Varían entre 0,1 a 7% en base al peso seco. En naranjos se observan deficiencias con cantidades de calcio en las hojas que pueden oscilar entre 0,14 - 1,50%. Con cantidades entre 3,0 - 5,5%, las plantas crecen saludablemente y con concentraciones mayores de 7% aparecen síntomas de toxicidad. Un exceso de calcio se puede asociar a pH alcalino, el cual produce deficiencias de hierro, manganeso, cobre, boro y zinc. El contenido de calcio en acículas de **Pinus caribaea** proveniente de plantas crecidas en una solución nutritiva completa es de 0,35%, mientras que las plantas con síntomas de deficiencia muestran una concentración de 0,03%

El calcio es un elemento imprescindible para la división celular en las zonas meristemáticas, particularmente en el crecimiento y desarrollo de los ápices de las raíces. Está presente en las células como pectato de calcio, el cual es un constituyente de la lámina media de la pared celular.

El calcio ha sido involucrado en la activación de algunas enzimas como la α -amilasa en el proceso de la germinación. Aunque el calcio estimula la enzima α -amilasa, no toma parte en la acción catalítica de esta enzima.

También se ha demostrado que es un activador de fosfatasas en tubérculos de papa, las cuales catalizan la dismutación de ADPás para producir ATP y ácido adenílico.

Se le ha dado al calcio, al igual que al potasio, una función químico-coloidal por estar involucrado en el mantenimiento de la turgencia celular.

Síntomas de deficiencia del Calcio.

El calcio es relativamente inmóvil y poco soluble y usualmente el elemento no se mueve de las hojas viejas a las hojas jóvenes. Debido a esta inmovilidad, los síntomas de deficiencia se muestran en las partes terminales de la planta, ya sea en las yemas terminales del ápice, en las hojas jóvenes y en los ápices de las raíces.



Los síntomas de deficiencia de calcio pueden ser observados inicialmente en las raíces antes de que aparezcan los primeros síntomas en las partes aéreas. Los ápices de las raíces se cubren de una sustancia viscosa o mucilaginosa y se tornan a un color negro. Las plantas empiezan a formar nuevas raíces cerca de la base del tallo.

En los ápices aéreos, la deficiencia de calcio afecta tanto la yema terminal, la cual termina por morir, como las yemas axilares. Las hojas jóvenes cercanas al ápice se encorvan al principio y mueren finalmente por el ápice y los bordes.

POTASIO

Símbolo: K, elemento químico del grupo Ia de la tabla periódica, grupo de los metales alcalinos, indispensable para la vida. Es un metal blanco, suave de un brillo plateado. Es el séptimo elemento más abundante sobre la tierra.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva de la palabra Kalium, neolatinizada de la palabra árabe utilizada para nombrar un álcali.

Número atómico: 19

Peso atómico: 39,102

Punto de fusión: 65,65°C

Punto de ebullición: 774°C

Densidad: 0,862 g/cm³ a 20°C

Estado de oxidación: +1

Estado natural: Comprende 2,6% de las rocas ígneas de la corteza terrestre. El potasio se encuentra en el suelo en minerales primarios y meteorizados, así como en las formas intercambiable, no-intercambiable y soluble en agua. Los

minerales primarios que contienen potasio son los feldespatos potásicos, ortoclasa y microclina, estos feldespatos contienen K (7-12%), Na (3-7%) y Ca (0-2%), respectivamente. Un mineral más rico en potasio es el feldespato de leucita, que contiene teóricamente 18% de K. El potasio está restringido esencialmente a rocas volcánicas y ha sido utilizado como fertilizante. Las micas como la moscovita y biotita, tienen un contenido de potasio que oscila entre 7 - 9% y de 5-7% respectivamente. Un mineral arcilloso importante que contiene potasio es la illita, con un contenido de K en el rango de 4 - 5%. La naturaleza de estos minerales del suelo se ha cambiado de alguna manera a partir de la forma original; ya que han perdido cierta cantidad de potasio de la red cristalina y ganado moléculas de agua de hidratación.

En la nutrición de las plantas las formas aprovechables son la intercambiable y la soluble en agua (rápidamente asimilable), el potasio no-intercambiable actúa como una reserva del elemento. El potasio no intercambiable, comprende entre el 90 - 98% del potasio total del suelo y se encuentra bajo la forma de feldespatos y micas, esta fracción constituye las reservas de potasio del suelo. El potasio rápidamente asimilable, forma del 1 - 2% del potasio total y el potasio lentamente asimilable o no cambiante constituye el 1 a 10% del total del suelo; este último es el potasio adsorbido y fijado por ciertos coloides del suelo.

Características generales: El potasio es uno de los elementos esenciales en la nutrición de la planta y uno de los tres que se encuentra en pequeñas cantidades en los suelos, limitando el rendimiento de los cultivos. Es el catión celular más abundante con concentraciones de 100 mM o mayores. Altas concentraciones de potasio se requieren para la conformación activa de muchas enzimas que participan en el metabolismo. Concentraciones abundantes de K^+ son necesarias para neutralizar los aniones solubles y macromoleculares del citoplasma, que tiene pocos cationes orgánicos. De esta manera el K^+ contribuye bastante con el potencial osmótico. El transporte de potasio puede efectuarse por medio de una ATPasa de la membrana celular, activada por K^+ . El ión K^+ parece estar implicado en varias funciones fisiológicas como son: transporte en el floema, turgencia de las células guardianes de los estomas, movimientos foliares (nastias) de los pulvínulos y crecimiento celular. De tal manera que, las necesidades nutricionales de K^+ se centran en cuatro roles bioquímicos y fisiológicos a saber: activación enzimática, procesos de transporte a través de membranas, neutralización aniónica y potencial osmótico.

El potasio actúa como un cofactor o activador de muchas enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas. Una de las más importantes la piruvato-quinasa, es una enzima principal de la glucólisis y respiración. Los iones K^+ son también importantes en la fijación del RNAm a los ribosomas. En

la célula el potasio no se introduce en compuestos orgánicos. Las preguntas acerca de la especificidad del K^+ son difíciles de responder, ya que es bien conocido que el Na^+ tienen ciertos efectos ligeros en corregir la deficiencia de K^+ y esto se atribuye a la substitución en su rol osmótico. Está bien establecido que el ión rubidio Rb^+ puede sustituir al potasio en el transporte dependiente de energía. Los tres elementos cuya disponibilidad en el suelo pueden limitar el crecimiento de las plantas son: nitrógeno, fósforo y potasio. Debido a la importancia de estos tres elementos, las fórmulas de los fertilizantes comerciales señalan los porcentajes en peso de N, P y K que contienen; aunque los dos últimos elementos se expresan como porcentajes equivalentes de P_2O_5 y K_2O , ejemplo la fórmula 15-15-15 CP, contiene 15% de nitrógeno, 15% de P_2O_5 y 15% de K_2O . La sigla CP indica que la fuente de potasio del producto es el cloruro de potasio, siendo el material de relleno el 55% del fertilizante.

El potasio es absorbido por las plantas como ión

Síntomas de deficiencia: En el campo el suministro de potasio por el suelo, puede ser adecuado para el crecimiento de los cultivos, siempre y cuando el suministro de nitrógeno y fósforo sean bajos; pero es insuficiente si aumentan estos elementos. De tal forma que se observan signos de carencia de K^+ , si se utilizan fertilizantes con nitrógeno y fósforo, produciéndose la muerte prematura de las hojas. Así como el nitrógeno y el fósforo, el potasio se traslada de los órganos maduros hacia los jóvenes; de tal forma que la deficiencia de este elemento se observa primero como un amarillamiento ligero en hojas viejas. En las dicotiledóneas las hojas se tornan cloróticas, pero a medida que progresa la deficiencia aparecen manchas necróticas de color oscuro.





La deficiencia de K^+ se conoce comúnmente como quemadura. En muchas monocotiledóneas, como es el caso de los cereales, las células de los ápices y bordes foliares mueren primero, propagándose la necrosis hacia la parte más joven de la base foliar. Ejemplo, el maíz deficiente de K^+ presenta tallos débiles y las raíces se hacen susceptibles a infecciones por patógenos que causan su pudrición.

Cuando hay una deficiencia de potasio, se forman entrenudos cortos y tallos delgados con hojas relativamente largas. Empezando en las hojas más viejas, aparecen clorosis rayadas desde la punta de las hojas que se extienden a lo largo del borde de las hojas. Estas formarán más adelante coloraciones amarillas con una posterior necrosis en las puntas y bordes de las hojas. Los granos crecen débilmente en la punta de la mazorca durante su desarrollo. Como el potasio se contribuye a la estabilidad del tallo, la carencia produce un “peligro de encamado”.

Solo se puede obtener un efecto óptimo del potasio junto con el nutriente magnesio, por lo que Korn-Kali® resulta siendo el fertilizante de potasio más apropiado ya que contiene 40 % de K_2O y 6 % de MgO .

El síntoma general más característico de la deficiencia de potasio es la aparición de un moteado de manchas cloróticas seguido por el desarrollo de zonas necróticas en la punta los bordes de las hojas. Debido a la movilidad de este elemento los síntomas aparecen primero en las hojas maduras, en algunas especies las hojas presentan coloración verde oscura o verde azulada confundándose con la deficiencia de fósforo. En general, una planta deficiente en potasio, presenta un aspecto achaparrado debido al acortamiento de los entrenudos. En condiciones extremas, las yemas terminales y laterales pueden morir.



Fotografía 5: Hojas de uña de gato (*Uncaria tomentosa*) Aspecto de las hojas de uña de gato cultivados en solución nutritiva sin K. mostrando pigmentación y necrosis en los bordes de las hojas más viejas.

Efectos localizados, en las hojas inferiores. Hojas inferiores con pigmentación color púrpura y necrosis que empieza en los bordes, nervaduras principal de color verde claro y las laterales de color verde, hojas pequeñas o grandes ligeramente alargadas, Ramas apicales con hojas pequeñas de color verde claro en la base y partes apicales y bordes con pigmentos púrpuras en los ápices y bordes apicales en las hojas, que luego se necrosan, también ligeras clorosis internervales de las hojas; tallos principales y ramas plagiotrópicas con entrenudos medianamente desarrollados, tallos gruesos y normales, ramas inferiores delgadas y ramas superiores apical gruesas, más gruesas que las inferiores. Raíces largas y abundantes que se acortan drásticamente al transcurrir el tiempo del tratamiento por aparente muerte por asfixia (Foto 4, 5, 6 y 7).



Fotografías 11: Hojas de bolaina blanca mostrando pigmentación y necrosis en los bordes de las hojas más viejas.

Efectos localizados, en las hojas inferiores, Hojas inferiores con clorosis y necrosis que empieza en los bordes, nervaduras principal de color

verde claro y las laterales de color verde, hojas pequeñas o grandes ligeramente alargadas, Ramas apicales con hojas pequeñas de color verde claro en la base y partes apicales y bordes con pigmentos púrpuras en los ápices y bordes apicales en las hojas, que luego se necrosan, también ligeras clorosis internervales de las hojas; tallos principales y ramas plagiotrópicas con entrenudos medianamente desarrollados, tallos delgados, ramas inferiores delgadas y ramas superiores apical más gruesas que las inferiores. Raíces largas y abundantes que se acortan drásticamente al transcurrir el tiempo del tratamiento por aparente muerte por asfixia (ver fotografías 10,11, 12 y 13).



Fotografía 5: Aspecto de la hoja de sachainchi cultivado en una solución nutritiva sin K. de Hoagland y Arnon.

Los efectos causados por la deficiencia de potasio se observaron inicialmente en las hojas inferiores, estos se presentaron como pequeños manchas circulares cercanas al borde del ápice de las hojas, este síntoma se presentó inicialmente en uno de las plantas aproximadamente a los 25 días después de aplicarle la solución nutritiva sin potasio, posteriormente estas pequeñas manchas se van tornando de un color marrón pajizo hasta necrosarse esto debido a que las células de los ápices y bordes

foliares mueren primero, formándose una especie de quemadura y presentándose una ligera clorosis en la hojas bajas.

Este síntoma inicialmente se presenta solo en el tercio inferior de la planta, para que posteriormente se traslade al tercio medio de la planta afectando incluso a las hojas bajas de los botes y finalmente causando daños a las hojas del tercio superior después de 70 días de haberse aplicado la solución, también se pudo observar que las hojas que presentan este síntoma tienden a defoliarse o a caerse con facilidad.

Los tallos principales y las ramas plagiotrópicas presentaron entrenudos medianamente desarrollados y ramas moderadamente delgadas en comparación al T1, presentando follaje poco abundante.

Además se observó que la presencia de raíces largas y medianamente abundantes.

En este tratamiento también se observó la presencia de flores a los 2 meses aproximadamente, pero ninguno de estos llegó a formar un fruto.



Fotografías 14: Planta de Camu Camu mostrando sus raíces cultivada en solución nutritiva sin K.

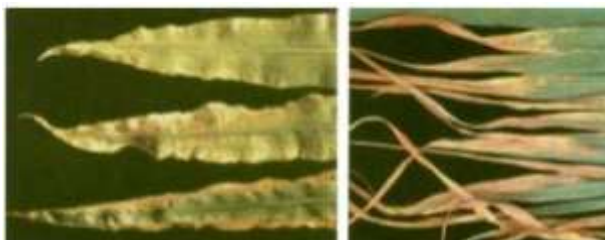
Efectos localizados, en las hojas inferiores. Hojas inferiores con clorosis y necrosis que empieza en los bordes y ápices que avanza hacia la parte central de la hoja, y se forma abarquillamiento. Nervaduras principales de color verde claro y las laterales de color verde, hojas pequeñas o grandes ligeramente alargadas. Hay ramificaciones, con hojas pequeñas de color

verde claro en la base, y partes apicales y bordes con pigmentos púrpuras en los ápices que luego se necrosan, también ligeras clorosis internerval de las hojas; Entrenudos medianamente desarrollados, tallos delgados, ramas inferiores delgadas y ramas superiores apical más gruesas que las inferiores. Hay muerte apical regresiva de las plantas. Raíces largas y abundantes que se acortan drásticamente al transcurrir el tiempo del tratamiento por aparente muerte por asfixia (ver fotografías 10,11, 12 y 13).

La deficiencia de potasio en **Pinus caribaea**, se caracteriza porque las acículas situadas en la parte inferior de la planta muestran un amarillamiento hacia el ápice, el cual se torna posteriormente rojizo. La clorosis puede progresar hasta cubrir la mitad distal de las acículas, permaneciendo la región basal de color verde. A medida que progresa la deficiencia, la clorosis se extiende hacia las acículas más jóvenes. Los síntomas agudos de esta deficiencia se caracterizan por un mosaico necrótico en las acículas que rodean el meristema apical del tallo principal, formando una roseta de acículas con pérdidas de la dominancia apical



Proporción aproximada en las plantas: Se sitúa entre 0,30 - 6% en base al peso seco, requiriendo algunas especies vegetales altas concentraciones de potasio en los tejidos para su crecimiento normal. A comienzos de la estación, los cultivos de papa pueden requerir cantidades tan altas como de 6%. Niveles de potasio de 0,30 - 0,68% en hojas de papa (**Solanum tuberosum**), dan lugar a deficiencias. El rango de concentración de potasio para un cultivo de papa en arena está situado entre 4,17 - 6,72%. El **Pinus caribaea** que crece en una solución completa, no muestra deficiencia y presenta un contenido de 0,80%, mientras que con deficiencia de este elemento tiene una concentración de 0,12%.



El potasio difiere de los elementos anteriores en que no forma parte estructural de la planta, su función más bien es activando enzimas que actúan en el metabolismo de la planta. Se han detectado más de 50 enzimas que dependen o son estimuladas por este elemento. Es el catión más abundante en el citoplasma y es el elemento que en mayor medida contribuye al mantenimiento del potencial osmótico celular.

El potasio parece ser importante en la síntesis de los aminoácidos y proteínas a partir de los iones amonio, ya que los tejidos que crecen en soluciones de alto contenido de amonio y bajo potasio, pueden morir por la elevada concentración de iones amonio que acumulan en estas condiciones.

Recientemente se ha demostrado que el potasio está involucrado en la síntesis del almidón, particularmente activando la enzima sintetasa del almidón. También se sabe que participa en la glicólisis, la fosforilación oxidativa, la fotofosforilación y para la síntesis de la adenina.

Al parecer el potasio también está involucrado en la translocación de los fotosintatos desde las hojas hacia otras partes de la planta en caña de azúcar. Otra de las funciones que son atribuidas al potasio es la de mantener la turgencia celular regulando el potencial hídrico de las células y también participar en el mecanismo de apertura de los estomas durante la transpiración.

Síntomas de deficiencia de potasio.

La característica más generalizada entre las plantas de una deficiencia de potasio, es la presencia de áreas de tejido muerto en el ápice y bordes de las hojas viejas. Las hojas maduras primero muestran áreas cloróticas en los ápices y bordes que luego cambian a un color café con una apariencia ligeramente quemada para finalmente transformarse en tejidos muertos. Las quemaduras del ápice y márgenes también se presentan en monocotiledóneas, como el maíz, donde el ápice y márgenes son afectados primero.



El síntoma de deficiencia de potasio es fácilmente distinguible del síntoma provocado por falta de nitrógeno, en el cual el amarillamiento se inicia en la porción media de las hojas. La deficiencia de potasio también se ha asociado con una acumulación significativa de molibdeno en la hoja. Plantas con deficiencias de potasio acumulan hasta cuatro veces la concentración de molibdeno encontrada en plantas normales.

AZUFRE

Símbolo: S, es un elemento químico no-metálico, que pertenece a la familia del oxígeno, grupo VIa de la tabla periódica, es uno de los más reactivos e importantes de todos los elementos. Conocido por los antiguos, en el Génesis se conoce este elemento como "piedra inflamable". Se ha estimado que es el noveno elemento más abundante en el universo.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva del latín "Sulfur", que significa piedra inflamable.

Número atómico: 16

Peso atómico: 32,064

Punto de fusión: 112,8°C (rómico), 119°C (monoclínico).

Punto de ebullición : 444,6°C

Densidad a 20°C: 2,07 g/cm³ (rómico), 1,96 g/cm³ (monoclínico).

Estado de oxidación: -2, +4, +6.

Estado natural: El azufre en la forma de sulfuros, sulfatos y azufre elemental constituye aproximadamente 0,06% de la corteza terrestre. El azufre nativo o libre se encuentra principalmente en depósitos volcánicos sedimentarios. El azufre está presente en los suelos bajo dos formas inorgánicas y orgánicas. En suelos húmedos se presenta principalmente como piritita ; blenda (Zn S), las piritas de cobre o calcopiritita (S₂ Fe Cu); cobaltina (Co As S); varias cantidades de yeso y sal de Epsom . En la solución del suelo el azufre está presente como ión sulfato. Los suelos de las regiones húmedas contienen 50-500 ppm de sulfato soluble en agua o ácidos débiles. El azufre total en esos suelos varía de 0,01 a 0,15%. En suelos de regiones áridas o semiáridas gran parte del azufre total está presente como sulfato soluble de calcio, magnesio, potasio y sodio. En suelos de invernadero la acumulación de sulfato puede ocasionar daños a la raíz y retardo en el crecimiento de las plantas.

Características generales: Desde los tiempos de Liebig se sabe que los sulfatos son necesarios para el crecimiento vegetal. Gran parte del azufre funcional de la planta se reduce a las formas sulfhidrilo (-SH) o disulfuro (-S-S-) . El azufre es absorbido por las plantas principalmente en la forma inorgánica como sulfato , luego es reducido e incorporado a compuestos orgánicos. En el reciclaje del azufre, retorna al suelo en la forma orgánica, donde se mineraliza por acción de microorganismos antes de ser utilizado por las plantas superiores.

El azufre se encuentra bajo las formas orgánicas de los aminoácidos, cisteína, cistina y metionina, así como en compuestos de azufre activados análogos al ATP, adenosina 5'-fosfosulfato (APS) y 3'-fosfoadenosina 5'-fosfosulfato (PAPS). Además, el azufre se encuentra en una variedad de ésteres de sulfato, tales como el sulfato de colina, glicósidos del aceite de mostaza y sulfatos de polisacáridos. El azufre participa como un ligando en un gran número de enzimas y metalo-proteínas, de forma resaltante en ferro-sulfo-proteínas y en cupro-proteínas.

El grupo sulfhidrilo (-SH) puede participar directamente en reacciones de oxidoreducción, como con el ácido lipóico y el glutatión. Los grupos sulfhídricos pueden ser sitios reactivos de enzimas o coenzimas, ejemplo: 3-fosfogliceraldehido deshidrogenasa y coenzima A. Muchas enzimas son inhibidas de forma no-competitiva por reactivos que se unen a los grupos sulfhidrilos, ejemplo: Pb, Hg, As, Ag. El azufre en forma reducida se encuentra en los anillos heterocíclicos de algunas coenzimas, como tiamina o bioheterocíclicos de algunas coenzimas, como tiamina o biotina y en una cantidad de metabolitos secundarios como la sinigrina de **Brassica nigra**, que contiene azufre en forma reducida y oxidada o la alicina, la sustancia olorosa del ajo y el factor causante de lacrimo en la cebolla.

Síntomas de deficiencia: Las deficiencias de azufre en países industriales son muy raras; ya que el dióxido de azufre de la atmósfera, liberado al quemar carbón, madera, gasolina y otros combustibles fósiles, es absorbido por las hojas a través de los estomas. El se convierte en bisulfito cuando reacciona con agua en las células y en esta forma inhibe la fotosíntesis, destruyendo los cloroplastos. En la parte Este de Estados Unidos, las plantas son dañadas por las "lluvias ácidas", causadas por que se escapa de las industrias. El dióxido de azufre absorbido, se convierte en iones sulfato en la planta. Se ha estimado en las precipitaciones de numerosos países cantidades de azufre que oscilan entre 2,7 a 260 Kg de S por hectáreas por año. La deficiencia de azufre se caracteriza porque la lámina foliar se torna uniformemente amarilla o clorótica; presentándose la deficiencia primeramente en hojas jóvenes, ya que este elemento no se redistribuye fácilmente de las hojas viejas hacia las maduras, por ser inmóvil. Debido a que los suelos tienen suficientes cantidades de sulfatos, las deficiencias de S en la naturaleza son raras, sin embargo han sido observadas en plantaciones de pino de Australia, en campos de algodón del sudeste de los Estados Unidos, etc. En plantaciones de té, en Malawi se identificó una enfermedad llamada "amarillamiento del té", causada por deficiencias de azufre. Las plantas presentaban hojas jóvenes cloróticas, finalmente se ponían amarillas, los bordes y los pices foliares se

volvían necróticos y se enrollaban. Se producía una muerte del ápice, seguida por una rápida defoliación.



Pese a que el maíz, como cultivo de verano, reacciona de manera menos sensible a un suministro insuficiente de azufre que, por ejemplo, los cereales de invierno, puede ocurrir una deficiencia aguda de azufre durante las fases tempranas de desarrollo en el caso de suelos más ligeros después de lluvias abundantes.

La carencia de azufre se manifiesta en el maíz a través de líneas claras y un amarilleamiento en las hojas medianas y más jóvenes. Toda la hoja se ve afectada por la aparición de las líneas y del amarilleamiento. En los bordes de las hojas se propagan líneas rojizas delgadas. Los síntomas mucho más marcados en sectores arenosos del campo aportan indicios adicionales de una deficiencia aguda de azufre. A fin de remediar la carencia se recomienda el abonado foliar reiterado con EPSO Top® o EPSO Combitorp®. Korn-Kali® con 5 % de S y ESTA® Kieserit gran. con 20 % de S son totalmente solubles en agua, por lo que son especialmente apropiados como medida preventiva ya que el azufre está inmediatamente disponible para la planta. ESTA® Kieserit gran. puede ser muy provechoso junto con los abonos NP cuando la siembra y el abonado son efectuados al mismo tiempo.



Fotografía 28: Plantas de uña de gato cultivadas en solución nutritiva sin S.

Hojas jóvenes apicales con clorosis generalizada y en algunas hojas de la parte central de la planta clorosis internerval que se proyecta a los ápices y bordes de las hojas más viejas, con áreas verdes cerca a la nervadura principal, hojas medianamente desarrolladas, ligeramente angostas y ligeramente retorcidas y encurvadas hacia abajo en la parte apical, que puede presentar necrosis, con presencia de pigmentos púrpuras o no en las partes apicales, ramas y hojas inferiores se desecan; tallos, entrenudos, con clorosis, puede presentar necrosis, diámetro de tallo normales, con presencia de ataque de insectos cochinilla harinosa; raíces medianamente abundantes (Foto 28, 29, 30, y 31).

Hojas jóvenes apicales con clorosis generalizada y en algunas hojas de la parte central de la planta clorosis internerval que se proyecta a los ápices y bordes de las hojas más viejas, con áreas verdes cerca a la nervadura principal, hojas medianamente desarrolladas, ligeramente angostas y ligeramente retorcidas y encurvadas hacia abajo en la parte apical, que puede presentar necrosis, con presencia de pigmentos púrpuras o no en las partes apicales, ramas y hojas inferiores se desecan; tallos, entrenudos, con clorosis, puede presentar necrosis, diámetro de tallo normales, con presencia de ataque de insectos cochinilla harinosa; raíces medianamente abundantes (Foto 28, 29, 30, y 31).



Fotografías 19: Aspecto del tallos y raíces Planta de bolaina blanca con deficiencia de S cultivada en Solución nutritiva.

Hojas jóvenes apicales con clorosis generalizada y en algunas hojas de la parte central de la planta clorosis internerval que se proyecta a los ápices y bordes de las hojas más viejas, con áreas verdes cerca a la nervadura principal, hojas medianamente desarrolladas, ligeramente angostas y ligeramente retorcidas y encorvadas hacia abajo en la parte apical, que puede presentar necrosis, con presencia de pigmentos púrpuras o no en las partes apicales, ramas y hojas inferiores se desecan; tallos, entrenudos, con clorosis, puede presentar necrosis, diámetro de tallo normales, con presencia de ataque de insectos cochinilla harinosa; raíces medianamente abundantes(ver fotografías 18 y 19).



Fotografía 30: Aspecto de una planta cultivada en solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon versus una planta cultiva en solución nutritiva sin S.

El síntoma de deficiencia de este elemento fue el último que se observó aproximadamente a los 37 días después de aplicarse la solución nutritiva completa, estos se presentaron inicialmente en las hojas jóvenes apicales con clorosis generalizada tanto en las hojas jóvenes como en la

nervadura central, se pudo observar que las planta que mostraron este síntoma tenían hojas más grandes y verdes que las del tratamiento completo T1 en especial la de la hojas bajas o del tercio medio, posteriormente la clorosis llegó a afectar a todas las hojas del tercio medio y/o superior tal como se ve en la fotografía 24, la carencia de este elemento no afectó significativamente la altura de esta planta ni la distancia de los nudos y entrenudos, este tratamiento también fue el que más daño recibió por parte de insectos masticadores tales como el *Grillus sp.*

Asimismo se observó la presencia de flores en la planta aproximadamente a los 60 días llegando estos a formar frutos tal como se muestra en la fotografía, las raíces también tuvieron un desarrollo normal pero mostrándose inferior en peso, longitud, volumen y materia seca que el T1.

En cuanto al efecto de la carencia de macro- nutrientes (N – P – K – Ca – Mg – S) en el crecimiento del cultivo de sachá inchi *Plukenetia volubilis L.* en la región de Ucayali, después del análisis de las variables en el crecimiento inicial del peso fresco, peso seco, longitud parte aérea de la planta, longitud de la raíz, diámetro del tallo, número de hojas formadas, número de hojas en formación, volumen de raíces formadas, área foliar y síntomas de deficiencia en tallos hojas y raíces se llegó a las siguientes conclusiones:

1. En cuanto a los parámetros evaluados y estudiados se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, observando que las plantas cultivadas en solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon se mostraron superior a todos los demás tratamientos cultivados con la ausencia de un macronutriente, estos a su vez se mostraron superior a las planta que fueron cultivadas solamente con agua desionizada en casi todos los parámetros evaluados.
2. El tratamiento que más efectos negativos mostro como consecuencia de la ausencia de un macronutriente fue el tratamiento que se cultivó en solución nutritiva sin Ca, puesto que fue el único tratamiento en el que se obtuvo un 50% de plantas muertas después de haberse cultivado 3

meses en solución nutritiva completa como efecto de la ausencia de calcio, seguido del T8 que solo contenía agua desionizada, T5 (-N), T3 (-P), T2 (-K), T6 (-Mg), T7 (-S), siendo este último el tratamiento que mejor se comportó en relación al T1 cultivados con solución nutritiva completa.

3. Las plantas de sachá inchi que fueron cultivadas en solución nutritiva sin fósforo T3 (-P) presentaron el menor peso fresco en raíces con 10.43 gramos, el menor peso seco en raíces con 1.12 gramos y el menor volumen de raíces con 9.750 cm^3 , en relación a todos los tratamientos siendo superada incluso por el T8 (agua desionizada), en estos tres parámetros, por lo que se puede inferir que el fósforo es el elemento limitante en cuanto al crecimiento en peso fresco, seco y volumen de raíces se refiere.
4. Con respecto al peso fresco y peso seco de las plantas de sachá inchi se pudo observar que el tratamiento sin nitrógeno T5 (-N) fue el que alcanzó el menor peso en gramos con 3.99 y 1.15 gramos, siendo superados por casi todos los tratamientos con excepción del T8 (agua desionizada) quien alcanzó valores menores pero similares en ambos parámetros no existiendo diferencias significativas entre ambos tratamientos, por lo que se puede concluir que este elemento es el más importante en cuanto a la ganancia de peso fresco y seco y por ende en la acumulación de nutrientes que le permitan un normal crecimiento.
5. Se pudo observar que las plantas de sachá inchi que presentaron menor longitud de la parte aérea en los tratamientos T8 (agua desionizada) con 26 y T5 (-N) con 33.25, también mostraron un mayor crecimiento en cuanto a la longitud de raíces, obteniendo valores de 33 y 26 cm. respectivamente, superando en longitud al T1 cultivado en solución nutritiva completa quien contaba con 17 cm. existiendo diferencias altamente significativas entre estos tratamientos en cuanto a esta variable, por lo que se puede inferir que mientras menor sea el suministro de nitrógeno a la planta más largas serán sus raíces y menor su crecimiento en longitud en cuanto a parte aérea.
6. En cuanto a la longitud de la parte aérea en sachá inchi se pudo observar que existía una estrecha relación con su diámetro, puesto que las plantas

que contaban con una mayor longitud también obtenían los mayores diámetro mayores.

7. El tratamiento que se mostró más susceptible al ataque plagas fue el T7 (-S) puesto que este fue el tratamiento que más ataque sufrió por parte de insectos masticadores en la etapa inicial del cultivo en solución nutritiva, por lo que se puede afinar este elemento está íntimamente relacionado con la resistencia o tolerancia de este cultivo a plagas.
8. Las plantas de sachá inchi que fueron cultivadas en solución nutritiva completa T1, mostraron una mayor precocidad en cuanto a floración y fructificación, ya que estos iniciaron su floración a los 60 días después de haberse agregado la solución nutritiva encontrándose un 87.5% de las plantas con flores, y al cabo de 3 meses de cultivo se pudo observar la presencia de frutos formados en un 50% de las plantas en estudio, otros tratamientos en los que se pudo ver la presencia de flores fueron el T2 (K) a los 2 meses aproximadamente, T6 (-Mg) a los 50 días siendo este el más precoz de todos los tratamiento en mostrar presencia flores pero ninguno de los dos tratamientos anteriores llegó a formar un fruto viable, T7(-S) también mostro presencia de flores aproximadamente a los 60 días después de cultivarse en esta solución nutritiva, observándose la presencia de frutos formados a los 3 meses.
9. Las plantas de sachá inchi que fueron cultivadas en solución nutritiva completa T1, presentaron el mayor número de hojas en formación con 57.5 hojas y el mayor número de hojas formados con 77.25 hojas funcionales, mostrando diferencias altamente significativas con respecto a los demás tratamientos, asimismo se observó que los tratamientos T4 (-Ca), T5 (-N) y T8 (agua desionizada) mostraron los menores resultados en cuanto a estas dos variables.

El Sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) es una planta nativa del Perú. Se reporta que el aceite de la semilla de sachá inchi contiene alrededor de 48% ácido linolénico (Omega 3), identificado por sus altas bondades en la salud humana, esto ha propiciado su demanda en el mercado nacional y especialmente en los mercados foráneos que lo hacen un cultivo de importancia comercial.

Posee el más alto contenido del ácido graso esencial linolénico, que es escaso en la naturaleza y el organismo humano no lo puede sintetizar y es esencial para funciones vitales del ser humano, su carencia produce una serie de enfermedades, esta característica del sachá inchi lo ha convertido es una alternativa de solución para la salud humana. (Anaya 2008).

Contiene el más alto porcentaje de grasas insaturadas 92% y solo el 8% de grasas saturadas. Es también fuente natural rica en omega 6 y 9(ácido, linolenico y oleico respectivamente), además contiene el 28% de proteínas, 2,6% de fibra, 17,7% de carbohidratos, 555,7kcal/100 de energía, vitamina E y otros componentes esenciales para la salud del ser humano (Hazen y Stowesand y Duclos 1980).



Fotografías 21: Aspecto de hojas de planta de camu camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) Mc Vaugh) con deficiencia de S cultivada en Solución nutritiva

Hojas jóvenes apicales con clorosis generalizada, hay blanqueamiento de hojas hacia abajo y aparición de punteaduras y áreas necróticas por los bordes y en algunas hojas de la parte central de la planta clorosis internerval que se proyecta a los ápices y bordes de las hojas más viejas, con áreas verdes cerca a la nervadura principal, hojas medianamente desarrolladas, ligeramente angostas y ligeramente retorcidas y encorvadas hacia abajo en la parte apical, que puede presentar necrosis, con presencia de pigmentos púrpuras o no en las partes apicales, ramas y hojas inferiores se desecan. Tallos, entrenudos, con clorosis, puede presentar necrosis, diámetro de tallos normales. Hay ramificaciones, con presencia de ataque de insectos cochinilla harinosa. Raíces medianamente abundantes (ver fotografías 18 y 19).

En el presente estudio de efectos de la carencia de macro elementos en el crecimiento inicial y síntomas de deficiencia del camu camu (*Myrciaria dubia*), se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1.- Que la ausencia de los macro elementos esenciales interfieren con el crecimiento de las plantas y con la aparición de síntomas de deficiencia.
- 2.- Las plantas sometidas a cultivo en ausencia de macro elementos sea N, P, K, Ca, Mg, S. disminuye el peso fresco, seco, longitud de la parte aérea, longitud de la raíz, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, volumen de raíces y número de ramas, trayendo perjuicios a las mismas, comparado con las plantas nutridas con solución nutritiva completa. En cuanto al efecto en el crecimiento y síntomas de deficiencia de camu camu (*Myrciaria dubia*), la ausencia calcio ocupó el primer lugar, seguido de Fósforo, potasio, magnesio, nitrógeno, azufre, sucesivamente, siendo que este último afectó menos el crecimiento de las plantas, y estuvo más cerca en crecimiento a las cultivadas con solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon,
- 3.- El efecto visual de las plantas fue alterada cuando fueron nutridas en ausencia de los macro elementos mostrando colores, formas, tamaños,

brotación y localización característicos a síntomas de deficiencia de cada elemento.

4.- Las observaciones realizadas nos encaminan a investigaciones sobre efecto de macro nutrientes en otros estados de crecimiento y desarrollo de la planta; niveles de cada nutriente y composición balanceada más adecuada al crecimiento y producción del camu camu.

El camu camu, conocido por poseer en sus frutos elevada concentración de ácido ascórbico contenido por cada 100 g de la parte comestible, alrededor de 2780 mg Ácido ascórbico L y otros componentes como Proteínas 0,5 g, Carbohidratos 5,9 g, Calcio 28 mg, Fósforo 15 mg, Hierro 0,15 mg, Tiamina 0,01 mg, Riboflavina 0,04 mg, Niacina 0,61 mg.; propiedades terapéuticas como antigripal, laxante, para contrarrestar la influenza A(H1N1), entre otras propiedades, está teniendo cada vez más diversificados usos.

En estudios recientes se ha determinado que la cáscara del fruto maduro tiene una buena concentración del pigmento antocianina apropiada para la fabricación de los colorantes; por su contenido alto de flavonoides y pectinas que cumplen un importante rol para la salud; Existen diversas modalidades tradicionales de uso de la especie por los pobladores amazónicos: la corteza del tallo y la raíz en cocimiento para el tratamiento del reumatismo y diarreas; los frutos y la corteza son empleados para teñir fibras vegetales de la "chambira" (*Astrocarium chambira*); la corteza raspada es aplicada localmente para aliviar dolores musculares. Asimismo, la fiebre y el dolor de cabeza son tratados con las hojas trituradas. El fruto, además, es empleado como carnada en la pesca. En los últimos cinco años, viene siendo empleado en la fabricación de bebidas refrescantes, yogurt, mermeladas, helados, néctar, productos para el cabello y deshidratados bajo distintas formas de presentación como cápsulas, pastillas y refrescos instantáneos. Su corteza y su tallo consumidos en infusión representan un excelente remedio para la diabetes. El concentrado de camu camu es un poderoso Antioxidante, estimula el Sistema Inmunológico.

Muy útil en la prevención y mejora del resfrío y la gripe, entre otras propiedades y usos.

Actualmente en la región Ucayali se cuenta con alrededor de 750 Has de plantaciones de camu camu en producción, en diversos medios ecológicos. Sin embargo el estudio de la nutrición mineral de la planta de *M. dubia*, aún no es conocido en nuestro medio, siendo esta una especie frutal nativa de la Amazonía peruana de importancia económica que debe ser estudiada.

Los síntomas de deficiencia en azufre son parecidos a los de la deficiencia en nitrógeno. Se presenta una clorosis general seguida en algunas especies por la producción de pigmentos antociánicos. Sin embargo, hay una diferencia fundamental, ya que debido a la inmovilidad de este elemento los síntomas aparecen primero en las hojas jóvenes.



La deficiencia de azufre en ***Pinus caribaea*** se caracteriza por un amarillamiento generalizado y uniforme de todas las acículas, aunque cuando se forman las acículas en fascículos, éstas pueden presentar una clorosis más acentuada que el resto. En numerosas acículas basales de la planta, se presenta un amarillamiento, cerca del punto de inserción de éstas al tallo, que luego se torna rosado, más tarde la anomalía termina por ocupar toda la acícula, que toma un color rosado. Cuando los síntomas son más agudos, los tallos en las partes terminales adquieren una coloración que varía de crema a rosado claro.

Proporción aproximada en las plantas: Varía de 0,05 - 1,5% en base al peso seco. Plantas de naranjo con cantidades entre 0,05 - 0,13% en hojas mostraban deficiencias, mientras que plantas con cantidades entre 0,23 - 0,26% de S en hojas se presentaban sanas. El contenido de azufre en acículas

de ***Pinus caribaea*** que crecía en soluciones nutritivas completas fue de 0,45%, mientras que las plantas con síntomas de deficiencia mostraban una concentración de 0,08%.

Aunque el SO₂ atmosférico es tomado y utilizado por las partes aéreas de las plantas, la fuente más importante de azufre son los sulfatos que entran a la planta a través de la raíz. El anión divalente (SO₄⁼) es tomado por las raíces a velocidades relativamente bajas y para el transporte a larga distancia es enviado principalmente al xilema.

El azufre es un constituyente de los aminoácidos cistina, cisteína y metionina. Estos aminoácidos son precursores de otros compuestos que contienen azufre como son las coenzimas, y algunos productos del metabolismo secundario. El azufre forma parte del ácido lipoico, la tiamina pirofosfato y la biotina. Está presente también en los lípidos producidos por ciertas plantas como el aceite de mostaza de las especies de *Brassica*.

La asimilación del azufre es semejante en varios aspectos al nitrógeno. Por ejemplo, es necesaria una reducción para que el azufre sea incorporado a los aminoácidos, proteínas y coenzimas, en las hojas verdes la ferredoxina es el agente reductor para el sulfato.

A diferencia del nitrógeno, el azufre reducido puede ser oxidado otra vez en las plantas superiores, este proceso es más evidente cuando ocurre la rápida degradación de las proteínas durante la senescencia de las hojas. Durante esta oxidación, el azufre reducido de la cisteína es convertido a sulfato, que es la forma más segura de almacenar el azufre en las plantas.

Síntomas de deficiencia del azufre.

Las plantas que tienen una deficiencia de azufre, presentan una clorosis muy característica en las hojas jóvenes pues las nervaduras de estas hojas se vuelven de un color claro, casi blanco, contrastando con el color amarillento del resto de la hoja. Los tallos son cortos y endebles y muestran un color amarillo. El crecimiento en general de la planta se muestra lento y raquítico.



FÓSFORO

Símbolo: **P**, es un elemento no-metálico que pertenece a la familia del nitrógeno (grupo Va de la tabla periódica). Comúnmente se presenta como un sólido céreo, incoloro, semitransparente, blando, que brilla en la oscuridad. Es un elemento esencial para plantas y animales, siendo el doceavo en abundancia en la corteza terrestre.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva del Griego phosphoros, que significa portador de luz.

Número atómico: 15

Peso atómico: 30,97

Punto de fusión (blanco): 44,1°C

Punto de ebullición (blanco): 280°C

Densidad: 1,82 g/cm³ a 20°C

Estado de oxidación: -3, +3, +5.

Estado natural: El contenido medio total de fósforo de la litosfera es de 0,28% expresando como P_2O_5 , pero muchos suelos superficiales contienen de 0,022 a 0,083% de fósforo. El fósforo no se encuentra libre en la naturaleza excepto en algunos meteoritos, se encuentra en compuestos que están distribuidos en

muchas rocas, minerales, plantas y animales. El fósforo en el suelo se puede dividir en dos clases principales, orgánico e inorgánico.

El orgánico se presenta en la forma de fosfolípidos, ácidos nucleicos y fosfatos de inositol. Como fósforo de fosfolípidos nunca excede 3 ppm., pero se han encontrado valores tan altos como 34 ppm. El fósforo en la forma de ácidos nucleicos puede alcanzar valores entre 17 y 58%. El fósforo orgánico, expresado como porcentaje del fósforo total, puede variar entre 2,6 a 75%. El fósforo orgánico debe ser mineralizado antes de ser absorbido por las plantas. El fósforo inorgánico se encuentra bajo varias formas, las cuales dependen del pH. Una pequeña fracción, normalmente menor de 1 ppm, está presente en la solución del suelo y se encuentra en equilibrio con el fósforo adsorbido por los coloides. **Las plantas toman el fósforo casi exclusivamente como iones**

fosfato inorgánico de la forma monovalente, ya que éste es absorbido más fácilmente que el . El pH del suelo controla la abundancia relativa de esas dos formas iónicas del fosfato. El ión se favorece por debajo de pH 7 y el ión divalente por encima de pH 7. Si el pH es muy alcalino todo el fósforo se encuentra bajo la forma de , la cual no es absorbible por las plantas. En suelos muy ácidos las concentraciones de hierro y aluminio disueltos son bastante altas como para precipitar el , como fosfatos de hierro y aluminio insolubles, como por ejemplo la estrengita y variscita . En suelos alcalinos y calcáreos el fósforo del suelo se encuentra presente como apatita $\text{Fe}_2 \text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2 \text{Ca}_3$, hidroxiapatita y carbonatoapatita $[\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2 \text{Ca CO}_3]$.

Características generales: El fósforo secundario al nitrógeno, es el elemento más limitante en los suelos. Se encuentra en la planta como un componente de carbohidratos activados (por ejemplo la glucosa -6- fosfato, fructosa -6- fosfato, fosfoglicerato, fosfoenolpiruvato, glucosa -1- fosfato, etc). Ácidos nucleicos, fosfolípidos, fosfoaminoácidos que forman parte de fosfoproteínas. El papel central del fósforo es en la transferencia de energía. Los carbohidratos antes de ser metabolizados son fosforilados. La presencia de fósforo en la estructura molecular de los azúcares, los hace más reactivos. En la transferencia de energía por fosforilación, juegan un papel importante los nucleótidos altamente reactivos: ATP (adenosina trifosfato), ADP (adenosina difosfato), GTP (guanosina trifosfato), GDP (guanosina difosfato), UTP (uridina trifosfato), UDP (uridina difosfato), CTP (citosina trifosfato) y CDP (citosina difosfato).

El fósforo, como ortofosfato participa en un gran número de reacciones enzimáticas que dependen de la fosforilación. Posiblemente por esta razón es un constituyente del núcleo y es esencial para la división celular y el desarrollo de tejidos meristemáticos. El fósforo se acumula principalmente en las regiones meristemática del tallo y raíces; en donde las células en división activa pueden

tener varios cientos a miles de veces más fósforo que las células que han dejado de dividirse. Un aspecto de suma importancia en el crecimiento de las plantas es la función de las asociaciones con micorrizas, del tipo "vesicular-arbuscular" (VA) en la absorción de fósforo. Se ha observado que en suelos con bajos contenido de fósforo disponible, las plantas con micorrizas tienen mayores tasas de crecimiento que las plantas sin micorrizas. Las micorrizas parecen modificar las propiedades de absorción por el sistema radical a través de:

a) El desarrollo de hifas en el suelo provenientes de las raíces; b) Absorción de fósforo por las hifas; c) Translocación de fosfato a grandes distancias por las hifas y d) La transferencia de fosfato desde el hongo a las células de la raíz. Las plantas con micorrizas al mejorar su alimentación con fosfatos, incrementan la absorción de otros macronutrientes, tales como K y S y de los micronutrientes Cu y Zn.

Síntomas de deficiencia: Las deficiencias de fósforo se parecen mucho a las de nitrógeno. En cereales se caracteriza por un retardo en el crecimiento, las raíces se desarrollan poco y se produce enanismo en hojas y tallos. Es frecuente la acumulación de antocianina en la base de las hojas y en las hojas próximas a morir, que le dan una coloración púrpura y se reduce el número de tallos.

Uno de los primeros síntomas que se observan en muchas especies es una coloración verde oscura o verde azulada de las hojas. Otro síntoma muy general es la formación de pigmentos antociánicos adquiriendo las hojas una coloración púrpura. En maíz, este color púrpura aparece en los bordes de la hoja, mientras que en tomate aparece en las venas de la hoja. Debido a la gran movilidad del fósforo son las hojas viejas las primeras en presentar los síntomas. Se reduce el crecimiento de la planta y en condiciones de extrema carencia las plantas presentan un aspecto achaparrado.



Especialmente en las plantas jóvenes se muestra la deficiencia de fósforo a través de coloraciones púrpuras profundas en las hojas más viejas; las otras hojas mantienen su color verde oscuro. Si continua la deficiencia de fósforo, las hojas más viejas se empiezan a marchitar, tomando un color rojo pardusco y muriendo.

La deficiencia de fósforo puede ocasionar durante la formación de los granos una madurez retrasada e hileras de granos distribuidas irregularmente



Fotografía 9: Hojas y raíces de de uña de gato (*Uncaria tomentosa*) con deficiencia de P.

Las hojas mas antiguas de la parte inferior son las más afectadas, hojas de color verde oscuro, con coloración roja y púrpura, Las hojas más jóvenes son de color verde claro, y que a medida que van creciendo se ponen más verdes y aparecen combinados con pigmentos de color púrpura y las hojas maduras son totalmente de color púrpura con nervaduras de color verde, tallos y ramas plagiotrópicas de color verde claro con manchas necróticas con entrenudos cortos y delgados, de longitudes y diámetros inferior al testigo y superior a los cultivados sin nitrógeno. Las hojas más afectadas presentan necrosis en los bordes cercano al ápice y en el ápice. Raíces largas y poco abundante (Foto 8, 9, 10, 11 y 12).



Fotografías 8: Hojas de bolaina blanca con deficiencia de P.

Las hojas más antiguas de la parte inferior son las más afectadas, hojas de color verde oscuro, con coloración roja y púrpura. Las hojas más jóvenes son de color verde claro, y que a medida que van creciendo se ponen más verdes y aparecen combinados con pigmentos de color púrpura y las hojas maduras son totalmente de color púrpura con nervaduras de color verde, tallos y ramas plagiotrópicas de color verde claro con manchas necróticas con entrenudos cortos y delgados, de longitudes y diámetros inferior al testigo y superior a los cultivados sin nitrógeno, Las hojas más afectadas presentan necrosis en los bordes cercano al ápice y en el ápice. Raíces larga y poco abundante (ver fotografías 7, 8 y 9).

El proceso de maduración de las plantas se retarda, mientras que las que tienen abundante fósforo maduran con más rapidez. El fosfato se redistribuye fácilmente en muchas plantas y se mueve de las hojas viejas hacia las jóvenes en las que se almacena; se acumula también en flores en proceso de desarrollo y en semillas. Como resultado de esto, las deficiencias de fósforo se observan primero en hojas maduras.





Fotografía 11: Aspecto una planta de Sacha inchi cultivada en solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon versus una planta cultivada en solución nutritiva sin P.

Las hojas más antiguas de la parte inferior son las más afectadas, este síntoma se presentó inicialmente en una de las plantas a los 30 días después de la aplicación de la solución nutritiva sin fósforo, las hojas presentaban una ligera clorosis, en donde la acumulación de antocianinas en las hojas bajas con el paso del tiempo fue mínima, las nervaduras centrales se mostraron un tanto cloróticas y las hojas presentaron un ligero color purpura, este síntoma inicialmente se presentó en tercio inferior de la planta llegando a observarse en el tercio superior de la planta tal como se observa en la figura 6, los tallos y ramas de estas plantas también se vieron seriamente afectados puesto que presentaban tallo principal delgado diámetros inferior al testigo, pocas ramas y algunos brotes, donde la distancia entre los brotes eran cortos, comprometiendo gravemente la altura de la planta, asimismo se observó que las raíces se mostraron largas y poco abundantes.



Fotografías 9: Aspecto de las hojas de camu camu con deficiencia de P.

Las hojas más antiguas de la parte inferior son las más afectadas. Las hojas más jóvenes son de color verde claro, y que a medida que van creciendo se ponen más verdes y aparecen combinados con pigmentos de color púrpura y las hojas maduras con manchas marrones dispersas por el limbo, con predominancia en los bordes, con nervaduras de color verde claro, tallos y ramas de color marrón sin o con escasa ramificación, con entrenudos cortos y delgados, de longitudes y diámetros inferior al testigo y superior a los cultivados sin nitrógeno. Las hojas afectadas presentan necrosis en los bordes cercano al ápice y en el ápice, que en estados más avanzados presenta abarquillamiento. Raíces larga y poco abundante (ver fotografías 7, 8 y 9).

La deficiencia de fósforo en **Pinus caribaea** se presenta como amarillamiento tenue de las acículas de la parte inferior del tallo, que pueden disponerse en forma de mosaico o extenderse homogéneamente, luego, las acículas adquieren coloraciones violáceas, grisáceas hasta alcanzar una coloración morada. A medida que continúa el crecimiento de la planta, la coloración progresa apicalmente afectando las acículas situadas en las partes superiores. Así mismo, un considerable número de las acículas de la parte inferior y media se vuelven rojizas y se secan manteniendo esa coloración. El tallo adquiere también una coloración roja a morada. Se observan defectos en el despliegue de las acículas en fascículo, presentándose los fascículos enrollados y semejando la cabeza de un ave.

Proporción aproximada en las plantas: Oscila entre 0,05 - 1%, en base al peso seco, estos valores dependen del estado nutricional de la planta, de la especie, estación y tejido muestreado. Los análisis foliares efectuados en árboles arrojan cifras más bajas, que en muchas plantas anuales, estando entre 0,05 - 0,10% de fósforo total en las plantas deficientes y entre 0,20 - 0,40% en el rango satisfactorio. El contenido de fósforo en acículas de **Pinus caribaea**, provenientes de plantas que crecían en una solución nutritiva completa era de 0,29%, mientras que las acículas de las plantas con síntomas de deficiencia mostraban un valor de 0,05%.



El fósforo forma parte de muchos compuestos importantes en las plantas como son las nucleoproteínas que están involucradas en la transferencia de la herencia genética en los cromosomas. También forma parte de los fosfolípidos y un tipo de ellos, la lecitina, se cree que esta presente en todas las células formando parte de las membranas celulares. Forma parte de muchos aceptores-donadores de hidrógeno como el nucleótido de difosfopiridina (DPN) o el nucleótido de trifosfopiridina (TPN) que están involucrados en la transferencia de H^+ que ocurre en algunos pasos del ciclo de Krebs, la glicólisis y en el ciclo de la pentosa fosfato.

El fósforo forma parte también de los compuestos altamente energéticos adenosín difosfato (ADP) y adenosín trifosfato (ATP). De hecho, en la mayoría de las reacciones celulares donde ocurre una transferencia energética, están involucrados estos dos compuestos y una considerable proporción de la energía liberada por la respiración se almacena en las células como enlaces fosfato ricos en energía. Los enlaces fosfato proporcionan la energía para la síntesis de compuestos como sacarosa, almidón y proteínas.

El fósforo también está involucrado en el proceso fotosintético al participar en la fosforilación de varios intermediarios de la asimilación del CO_2 . En las reacciones de los dos fotosistemas, el fósforo está involucrado en la conversión de la luz hacia energía química al reducir al NADPH y al ATP.

Síntomas de deficiencia de fósforo

En la mayoría de las plantas, una deficiencia de fósforo induce la formación de antocianinas con las cuales las hojas adquieren un color rojizo o púrpuro. Este síntoma aparece en las hojas jóvenes debido a la baja solubilidad y lenta movilización del fósforo. En maíz, el desarrollo del color púrpuro ocurre en los márgenes de las hojas y en las partes bajas del tallo. En tomate, el color se desarrolla principalmente en las nervaduras del envés de las hojas. Algunas plantas desarrollan hojas de un color verde oscuro y en ocasiones un verde azulado.



La aparición de un color púrpura en la planta no solamente puede ser causado por una deficiencia de fósforo, también en ocasiones puede ser causado por una deficiencia de magnesio en algodón o de boro en clavel, aunque en el primer caso, el síntoma se presenta en las hojas viejas y en el caso de la deficiencia de boro, el síntoma se acompaña del daño característico a la yema terminal.

En cereales, se presenta un sistema radicular raquítrico y aún más raquítricos los tallos y las hojas; estas adquieren un tono verde-grisáceo y un color rojizo en la base del tallo como en el maíz, el ahijamiento se disminuye y también el número de tallos fructíferos.

MAGNESIO

Símbolo: Mg, es uno de los metales alcalino-térreos del grupo Ila de la tabla periódica, metal ligeramente estructural. Es un elemento de color blanco plateado, que no se halla libre en estado natural. El magnesio es el octavo elemento más abundante en la corteza terrestre, siendo esencial en el metabolismo de plantas y animales.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva de la antigua Magnesia, un distrito de Thesalia en Grecia

Número atómico: 12 **Peso**

atómico: 24,312 **Punto de**

fusión: 651°C **Punto de**

ebullición: 1107°C

Densidad: 1,74 a 20°C

Estado de oxidación: +2

Estado natural: El contenido promedio de magnesio en la litosfera es de 2,68%, variando según el origen geológico del suelo. El magnesio se encuentra presente en el suelo bajo las formas no-intercambiable, y soluble en agua. El magnesio en la forma no-intercambiable se encuentra principalmente en los minerales primarios y secundarios biotita, augita, hornblenda, olivina, serpentina, clorita, montmorillonita, illita, vermiculita, y en los carbonatos

minerales dolomita, magnesita y sal de Epsom. En las regiones áridas y semiáridas predominan los minerales dolomita, magnesita y sal de Epsom. Una pequeña parte de Mg se asocia con la materia orgánica del suelo. El contenido de magnesio total en los suelos no calcáreos, varía entre 0,1 a 1%.

El contenido total de magnesio en un suelo no es un índice de su disponibilidad. La disponibilidad de magnesio en un suelo depende no solamente de la cantidad total presente, sino de la cantidad en relación a la capacidad de intercambio de los coloides del suelo y de la naturaleza de los iones complementarios. Las pérdidas de magnesio del suelo son, en general, menores que las de calcio; estimándose que las cosechas extraen entre 10 y 60 Kg x ha x cosecha.

Características generales: Las concentraciones de Mg^{2+} en tejidos vegetales son variables, pero más bien altas. Más del 70% del magnesio se difunde libremente en la solución celular, aunque puede estar asociado a componentes cargados negativamente, tales como proteínas y nucleótidos a través de enlaces iónicos. Una gran cantidad de magnesio está probablemente enlazada a polifosfatos como el Mg-ATP.

Dependiendo de la abundancia relativa de Mg^{2+} , el magnesio puede contribuir a neutralizar los fosfoazúcares, azúcares - nucleótidos, ácidos orgánicos y aminoácidos. La propiedad más importante del Mg^{2+} es su solubilidad. Su abundancia sugiere una multiplicidad de funciones, principalmente como activador de reacciones enzimáticas. Entre las reacciones en las que participa el Mg^{2+} están las de transferencia de fosfatos o nucleótidos (fosfatasas, kinasas, ATPasas, sintetasas, nucleótido-transferasas), de grupos carboxilos (carboxilasas, descarboxilasas) y activador de deshidrogenasas, mutasas y liasas. El magnesio tiene un papel estructural como componente de la molécula de clorofila, es requerido para mantener la integridad de los ribosomas y sin duda contribuye en mantener la estabilidad estructural de los ácidos nucleicos y membranas. El magnesio puede activar a la enzima uniéndose fuera del sitio de unión al sustrato. Existen evidencias que los flujos de Mg^{2+} pueden servir para regular la actividad enzimática, como ocurre con el aumento en la fijación de CO_2 por los cloroplastos, activada por la luz. El bombeo de Mg^{2+} de los tilacoides hacia el estroma en la luz, sirve como activador de la enzima Ribulosa-bisfosfato-carboxilasa-oxigenasa (Rubisco).

El magnesio se absorbe por las raíces de las plantas en la forma de Mg^{2+}

Síntomas de deficiencia: La deficiencia de magnesio ocurre comúnmente en suelos ácidos, arenosos, en áreas de precipitación moderada a alta. La ausencia de Mg^{2+} se caracteriza por una clorosis en hojas viejas, principalmente entre las nervaduras. En algunas plantas la ausencia de clorofila es seguida por la aparición de otros pigmentos.

En muchas brasicas, remolacha azucarera, rábano y lechuga, la clorosis frecuentemente comienza como un moteado verde-amarillento entre las nervaduras, que permanecen verdes, en hojas viejas. En plantas como el tabaco y celery, se ven afectados primero los ápices foliares.





La típica deficiencia de magnesio en el maíz se reconoce por los aclaramientos en forma de hileras de perlas de la hoja de maíz en los limbos foliares normalmente verdes. Si la carencia de magnesio persiste, las hojas pierden cada vez más su color verde y se produce un amarilleamiento en los bordes de las hojas.

ESTA[®] Kieserit gran. es con 25 % de MgO y 50 % de SO₃ es el abono magnésico ideal para el maíz. La fertilización con ESTA[®] Kieserit gran. brinda además la cantidad suficiente de azufre.

ESTA[®] Kieserit gran. puede ser aplicado sobre o entre las líneas de siembra o esparcido a voleo. Para solucionar una carencia aguda se puede realizar un abonado foliar con los productos EPSO.

Síntomas de deficiencia del magnesio. En contraste con el calcio, el magnesio es muy móvil y puede trasladarse de las hojas viejas a las hojas jóvenes en un estado de deficiencia. Por esta razón, cuando existe poco magnesio, las hojas viejas presentan un amarillamiento o clorosis intervenal que puede transformarse en áreas de tejido muerto entre las nervaduras si la deficiencia es muy drástica o suficientemente aguda. En algunas plantas los bordes de las hojas viejas se encorvan con la concavidad hacia arriba.

La clorosis intervenal en las hojas es uno de los síntomas más característicos de la deficiencia en este elemento, aunque la variedad de síntomas en especies es tan grande que se hace difícil el poder dar síntomas generales de deficiencia en magnesio. A veces se producen también, como en el algodón, pigmentos antociánicos en las hojas. Los síntomas, cualesquiera que sean, se presentan primero en las hojas maduras, dato indicativo de su movilidad dentro de la planta.



Fotografía 23: Plantas de uña de gato cultivadas en solución nutritiva sin Mg.

Hojas con clorosis internerval, empezando por las hojas inferiores, ápices y bordes de la nervadura central de color verde, lámina foliar presentan pigmentaciones o manchas de color marrón anaranjado combinado con verde, o necrosis, ápices con hojas retorcidas y bordes marrón anaranjado curvadas hacia abajo, las hojas con tendencia alargadas y medianamente desarrolladas; tallos con entrenudos y diámetros normales, con presencia de plaga cochinilla harinosa a lo largo del tallo, así como cigarritas pequeñas de color oscuro, y así mismo algunas hojas con presencia de cochinillas harinosas, tallos inferiores delgados y marchitos; raíces normalmente largas y cortas, poco abundantes (Foto 23, 24, 25, 26, y 27).



Fotografía 16: Hojas de bolaina blanca con deficiencia de Mg de plantas cultivadas en solución nutritiva.

Hojas con clorosis internerval, empezando por las hojas inferiores, ápices y bordes de la nervadura central de color verde, lámina foliar presentan pigmentaciones o manchas de color marrón anaranjado combinado con verde, o necrosis, ápices con hojas retorcidas y bordes marrón anaranjado curvadas hacia abajo, las hojas con tendencia alargadas y medianamente desarrolladas; tallos con entrenudos y diámetros medianos, con presencia de plaga cochinilla harinosa a lo largo del tallo, así como cigarritas pequeñas de color oscuro, y así mismo algunas hojas con presencia de cochinillas harinosas, tallos inferiores delgados y marchitos; raíces entre largas y cortas, poco abundantes (ver fotografías 15,16 y 17).



Fotografía 24: Aspecto de una planta cultivada en solución nutritiva completa de Hoagland y Arnon versus una planta cultivada en solución nutritiva sin Mg.

Los síntomas se presentaron a los 20 días después de aplicarse la solución nutritiva sin Mg, inicialmente se observó clorosis internerval en las hojas bajas del tercio inferior, afectando también la nervadura central observándose manchas necróticas de color marrón pajizo a marrón oscuro tal como se ve en la fotografía 20, luego cuando los síntomas se agudizan esta clorosis internerval se presenta hasta el tercio medio de la planta provocando que las hojas caigan con mucha facilidad.

Los tallos y las ramas presentaron un desarrollo relativamente normal afectando un poco el diámetro del tallo de las plantas, asimismo las raíces se mostraron medianamente largas y poco abundantes ver fotografía 22.

También se observó la presencia de flores en este tratamiento siendo este el más precoz de todos presentándose a los 50 días después de aplicar la solución nutritiva sin Mg. Pero a diferencia del tratamiento completo estas flores nunca llegaron a formar un fruto, puesto que estos caían con mucha facilidad.



Fotografía 19: Hojas de camu camu con deficiencia de Mg de plantas cultivadas en solución nutritiva.

Hojas con clorosis internerval, empezando por las hojas inferiores, ápices y bordes de la nervadura central de color verde, lámina foliar presentan pigmentaciones o manchas de color marrón anaranjado combinado con verde, o necrosis, ápices con hojas retorcidas y bordes marrón anaranjado curvadas hacia abajo, hay encartuchamiento. Hojas con tendencias alargadas y medianamente desarrolladas. Tallos con entrenudos y diámetros medianos, con presencia de plaga cochinilla harinosa a lo largo del tallo, así como cigarritas pequeñas de color oscuro, y así mismo algunas hojas con presencia de cochinillas harinosas, tallos inferiores con ramificaciones, delgados y marchitos con muerte apical. Raíces entre largas y cortas, poco abundantes (ver fotografías 15,16 y 17).



La deficiencia de magnesio en ***Pinus caribaea***, se caracteriza porque las acículas basales presentan un color amarillo intenso, que inicialmente ocupa la zona apical de la acícula, progresando hacia la parte basal, ocupándola homogéneamente. Al progresar la deficiencia de , la clorosis se extiende hacia las acículas más jóvenes, tanto simples como en fascículo, hasta que en un estado avanzado todas las acículas de la planta presentan un amarillamiento intenso. Las acículas situadas en la parte media y superior del tallo, presentan bandas marrón rojizas, que luego se tornan necróticas.

Proporciones aproximadas en las plantas: Las proporciones aproximadas en las plantas varían entre 0,05 - 0,7% en base al peso seco, cuando la concentración en hojas maduras se encuentra entre 0,20 - 0,25%, la planta no muestra síntomas de deficiencia de magnesio. Cuando se hace un análisis foliar para diagnosticar la deficiencia de magnesio, es importante conocer el tejido muestreado, la edad y su posición en la planta.

El contenido de en acículas de ***Pinus caribaea*** provenientes de plantas que crecía en una solución nutritiva completa fue de 0,14%, mientras que las plantas con síntomas de deficiencia mostraban una concentración de 0,012%.



El magnesio es necesario en todas las plantas verdes, dado que es el componente central de la molécula de clorofila. Cada molécula de clorofila contiene un átomo de magnesio el cual significa el 2.7% del peso molecular de la clorofila. Del total de magnesio en la planta, menos del 0.1% esta presente en la clorofila; la mayoría de este catión se encuentra unido con ácidos orgánicos y con aniones inorgánicos.

Desempeña también un papel importante en la translocación del fósforo en la planta y posiblemente a consecuencia de esto, se acumula en las semillas de las especies ricas en aceites, pues el aceite va acompañado de una acumulación de lecitina, un lípido que contiene fosfato.

El magnesio es un activador de una gran cantidad de enzimas como son: enolasas, hexoquinasas, pirofosfatasas, carboxilasas, fosfoquinasas, glutamino-sintetasa, succinil-CoA sintetasa, etc,. También es requerido para la descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico para formar acetil-CoA.

El magnesio actúa como un elemento de unión para la agregación de las subunidades de los ribosomas, proceso que es necesario para la síntesis de proteínas. Cuando el nivel de magnesio es deficiente, las subunidades ribosomales se disocian y se detiene la síntesis de proteínas. También es requerido por la RNA-polimerasa e incrementa la formación de RNA en el núcleo.

SILICIO

Símbolo: Si, elemento químico no metálico, que pertenece a la familia del carbono, grupo IV a de la tabla periódica. El sílice puro es un sólido duro, gris oscuro con un brillo metálico y con estructura cristalina, no se halla libre en la naturaleza encontrándose en su mayor parte como silicato y sílice. Es el segundo elemento más abundante de la corteza terrestre.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva del Latín silex, silicis, pedernal, variedad de silex que al ser golpeado con el eslabón da chispa.

Número atómico: 14

Peso atómico: 28,086

Punto de fusión : 1410°C

Punto de ebullición: 2355°C

Densidad : 2,42

Estado común de oxidación : +4

Estado natural : Representa el 27,7 % de la corteza terrestre. Fue aislado por primera vez y descrito como un elemento por Jons Jacob Berzelius en 1824. El silicio no se encuentra como tal en la naturaleza sino en forma de óxido, formando parte de rocas, arena, arcilla y suelos. Se combina con el aluminio, magnesio, calcio, sodio, potasio o hierro, formando silicatos. Sus compuestos se encuentran también, en todas las aguas naturales, en la atmósfera como polvo de silicio, en muchas plantas y en los esqueletos, tejidos y fluidos orgánicos de algunas plantas. El silicio existe en la solución del suelo como ácido silícico, en cuyas formas es absorbido.

Características generales: El silicio se deposita en forma amorfa en las paredes celulares. Contribuye con las propiedades mecánicas de la pared como son la rigidez y la elasticidad. El silicio es requerido solamente por miembros de la familia Equisetáceas para completar su ciclo de vida. Sin embargo, muchas especies acumulan concentraciones apreciables de sílice en sus tejidos y mejoran su crecimiento y fertilidad cuando se les suministra cantidades adecuadas de silicio. En las gramíneas, no solamente se deposita en la pared celular de la epidermis, pelos, brácteas, etc., sino también en el interior, como sucede en las células buliformes y en el xilema. El silicio es

depositado como silica hidratada amorfa. primeramente en el retículo endoplasmático, pared celular y en los espacios intercelulares. Intracelularmente, se acumula también en células epidérmicas especializadas llamadas células silíceas. Así mismo, forma complejos con polifenoles reforzando la pared celular. Algunas algas como las diatomeas, contienen estructuras silíceas en sus frústulos, por lo que el elemento se considera esencial para ellas. Se ha comprobado su esencialidad en la caña de azúcar, el tomate y el pepino. Síntomas de deficiencia. Las plantas deficientes en silicio son quebradizas y susceptibles de infecciones fúngicas. El silicio, puede disminuir la toxicidad por metales pesados. El silicio aumenta la resistencia del arroz al ataque de hongos y aumenta el rendimiento del cultivo. Así mismo, se ha observado que los silicatos disminuyen la toxicidad por hierro y manganeso en los cultivos de arroz. En

Japón, el nivel crítico de sílice disponible está alrededor de 10 mg de por

100 g de suelo. Las plantas de arroz responden a la aplicación de sílice cuando los niveles están por debajo de este valor crítico.

El silicio es el segundo elemento más abundante en la corteza de la tierra. La forma en que se encuentra diluido en el suelo es como ácido monosilícico, Si(OH)_4 .

Las plantas superiores difieren en forma característica en su capacidad para absorber el silicio, dependiendo de su contenido de SiO_2 , ellas pueden ser divididas en tres grupos: gramíneas de tierras húmedas, como son el arroz o las “colas de caballo” (*Equisetum*) con un 10-15%; gramíneas de tierras secas, como la caña de azúcar y la mayoría de los cereales y unas pocas dicotiledóneas, con un 1-3%; y la mayoría de las dicotiledóneas, especialmente las leguminosas, con $< 0.5\%$. En plantas superiores se ha establecido la esencialidad de este elemento para las especies acumuladoras de sílice (especies silicófilas) como *Equisetum arvense* y ciertas especies de pastos de tierras húmedas.

En ausencia de silicio, se ha observado una considerable disminución en la incorporación de fosfato inorgánico para el ATP, ADP y azúcares fosfatados en caña de azúcar; en las paredes celulares de las raíces de trigo la lignina disminuye, mientras que algunos compuestos fenólicos aumentan.

Bajo condiciones de campo, particularmente en siembras de alta densidad en cereales, el silicio puede estimular el crecimiento y rendimiento indirectamente disminuyendo la competencia por la luz provocando hojas erectas, disminuyendo también la incidencia de enfermedades fungosas y previniendo la toxicidad del hierro y/o manganeso. Los depósitos de silicio en la capa epidérmica de las hojas es particularmente efectivo para incrementar la resistencia mecánica del tejido a la infección de los mildews y al ataque de los insectos.

MICRONUTRIENTES (OLIGOELEMENTOS)

Las plantas utilizan en su nutrición pequeñas cantidades de ciertos elementos, denominados microelementos, oligoelementos o elementos trazas. En la tabla 1, se presenta la concentración en miligramos por 100 gramos de materia seca de estos ocho (8) microelementos a saber: boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, zinc y sodio. Los vegetales los requieren solamente en cantidades muy pequeñas que oscilan entre 0,01 a 0,5 ppm. Los micronutrientes tienen varias propiedades en común, entre las que están la de actuar como activadores de muchas enzimas esenciales para la vida animal y vegetal, aunque cuando presentes en cantidades elevadas en las soluciones nutritivas o solución del suelo, producen toxicidad.

Comúnmente los oligoelementos no se aplican al suelo mediante el uso de fertilizantes comerciales, a pesar de que su extracción del suelo ha proseguido durante siglos sin ninguna reposición sistemática, agotándose sus existencias, con el subsiguiente efecto sobre la productividad vegetal. Así mismo, la utilización de fertilizantes químicos que estimulan un mayor rendimiento de los

cultivos, junto a la pérdida de oligoelementos por meteorización, lixiviación, el uso cada vez menor de estiércol animal y de otros productos fertilizantes naturales, en comparación con el uso de fertilizantes químicos, cada vez más puros, entre otros, está contribuyendo al agotamiento acelerado de las reservas de oligoelementos en los suelos. El suministro mezquino de oligoelementos a las plantas limita el desarrollo y productividad vegetal. Los cultivos requieren cantidades de elementos químicos que oscilan desde algunos gramos a pocos kilogramos por hectárea.

Se ha estimado que un cultivo de avena remueve cerca de 20g de cobre, 100g de zinc y 500g de manganeso, comparado con 8Kg de fósforo por hectárea. Los oligoelementos se clasifican para una mejor discusión, en aniónicos y catiónicos. Los aniónicos incluyen el boro, cloro y molibdeno. El molibdeno se considera como un anión, ya que se presenta como íon central del anión molibdato, cuyo comportamiento es semejante al del boro. El cloro se presenta en el suelo como ión cloruro. Los oligoelementos catiónicos comprenden zinc, hierro, cobre, manganeso y níquel. Estos se encuentran en los suelos con valencia de +2, aunque el hierro se puede presentar con valencia +3 y el manganeso como Mn^{2+} , y a veces como Mn^{4+} .

OLIGOELEMENTOS ANIÓNICOS (B,Cl,Mo)

BORO

Símbolo: B, elemento químico, semi-metálico del grupo IIIa de la tabla periódica, esencial para el crecimiento de las plantas, de amplia aplicación industrial. El boro cristalino puro es transparente. No se halla libre en estado natural.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva de la palabra persa burah para el bórax, por analogía con carbón.

Número atómico: 5

Peso atómico: 10,811 **Punto**

de fusión: 2300°C **Punto de**

ebullición: 2550°C

Densidad: 2,34 a 20°C

Estado de oxidación: +3

Estado natural: El contenido de boro en la corteza terrestre es de 0,001%, se presenta combinado como bórax. El mineral más importante en el suelo que lo contiene es la turmalina, que tiene 3-4% B, es insoluble y se meteoriza lentamente. Se encuentra también en rocas ígneas que son la fuente principal de boro en los suelos. El agua de mar contiene como promedio 4 a 6 ppm, en consecuencia, los depósitos marinos son relativamente ricos en B. El contenido total de B en los suelos es variable, pudiendo estar entre 3-100 ppm., estando el promedio entre 10 a 20ppm. En general los suelos costeros contienen entre 10 a 50 veces más boro que los suelos del interior, probablemente debido al origen marino del boro en suelos costeros.

En regiones áridas, la concentración de boro alcanza niveles muy altos, del orden de 1000 ppm, lo cual puede ocasionar problemas de toxicidad para las plantas. Las aguas de riego con cantidades mayores de 2 ppm son indeseable, ya que ocasionan también toxicidad. La absorción de boro por las plantas se reduce al aumentar el pH del suelo por encalado, ya que aumenta la adsorción del elemento. A medida que el pH se hace más ácido los procesos de adsorción disminuyen, aumentando la disponibilidad de B.

El boro disponible para las plantas se encuentra en la solución del suelo como ácido bórico a pH neutro, y hasta donde se sabe es la forma del nutriente utilizado por la planta.

La cantidad de boro en las plantas está relacionado a las cantidades de boro removido del suelo, mediante extracción con agua hirviendo. Las cantidades oscilan entre menos de 0,05 ppm a más de 50 ppm, mostrando la mayoría de los suelos valores por encima de 3 ppm. El nivel de deficiencia depende de las condiciones de extracción, pH y el estado de la materia orgánica del suelo. El contenido crítico puede estar en la región de 0,5 ppm en suelos secos al aire.

Una de las plantas más sensible a la deficiencia de boro en el suelo es el **Helianthus annuus** (girasol), el cual ha sido ampliamente utilizado para detectar la disponibilidad de este elemento en el suelo.

Características generales: El boro es requerido por las plantas superiores y algunas algas, y diatomeas; pero no es esencial para animales, hongos y microorganismos. Su requerimiento debe estar relacionado con una función particular de las plantas, la que no está claramente identificada.

No se conoce enzima o macromolécula estructural que incorpore boro. Inclusive no se sabe como es que entra el boro a la planta. Parece ser que la absorción de boro sigue el paso del flujo de agua, lo cual indica que es apoplístico, localizándose en la pared celular o membrana plasmática.

Los requerimientos de boro se han deducido a partir de los efectos observados cuando se elimina el elemento. Las respuestas visibles tempranamente

observadas son la cesación del crecimiento de los meristemas y del tubo polínico. Se han observado cambios en los componentes de la pared celular. En estudios realizados con meristemas de ápices radicales, se ha encontrado que la síntesis de ADN y de la división celular cesan, sin afectar el alargamiento celular, produciendo hinchamiento del ápice de la raíz. Los cultivos de tejidos obtenidos a partir de óvulos de **Gossypium hirsutum** (algodón), dan origen a callos cuando se retira el boro del medio nutritivo, y esto se asocia a la reducción en la síntesis de nucleótidos de piridina.

Se cree que el boro tiene su sitio de acción en la membrana celular, esto se sustenta en el hecho de que raíces deficientes en boro, recobran después de una hora el transporte iónico asociado al metabolismo al añadirles boro. Paralelamente se ha observado la reactivación de la actividad ATPasa estimulada por .

Parece ser que el boro reacciona con las membranas de una forma que afecta el transporte dependiente de un aporte energético y que potencia el efecto hormonal. El ácido bórico forma fuertes complejos con átomos de oxígeno de los grupos hidroxilos vecinos presentes en los azúcares y polisacáridos, gran parte del boro en las plantas se encuentra en esas formas. Se ha sugerido que el boro puede jugar un papel importante en la síntesis de pirimidinas, flavonoides, así como en el transporte de azúcares a través del floema, bajo la forma de complejos tipo boratos. El boro estaría implicado junto al calcio en el metabolismo de la pared celular. Se ha encontrado que una relación constante de calcio y boro debe ser óptima para el crecimiento vegetal.

Síntomas de deficiencia: Es uno de los elementos más inmóviles en la planta. Una vez depositado en la hoja, no es retranslocado hacia las hojas jóvenes, lo que hace que los nuevos crecimientos dependan de la absorción continua de boro del suelo. La deficiencia de boro causa daños serios y muerte de los meristemas apicales. Las plantas deficientes en boro contienen más azúcares y pentosanos, presentan tasas más bajas de absorción de agua y transpiración que las plantas normales. Los síntomas varían ampliamente entre especies de plantas y reciben con frecuencia nombres descriptivos como "tallos rotos" (cracked stem) del celery, "corteza interna" (internal cork) o "mancha de sequía" (drought spot), de las manzanas, etc. Las deficiencias de boro son muy comunes en plantaciones de árboles de todo el mundo.

Debido a su inmovilidad, los síntomas se presentan en primer lugar en las zonas más jóvenes, tanto de raíces como de tallos, cuyos ápices terminales pueden acabar muriendo. Las hojas presentan una textura dura y cobriza y los tallos quebradizos y agrietados. En general, las flores no llegan a formarse.



El autor de este texto reportó en 1978, una deficiencia de boro, en una plantación de **Pinus radiata** y **Pinus oocarpa**, del vergel cerca de Mucurub', estado Mérida, Venezuela. En áreas donde las precipitaciones son adecuadas, los síntomas de deficiencia pueden aparecer si se presenta un período de sequía largo.

El boro es absorbido en una o varias de sus formas iónicas, como $B_4O_7^{2-}$, $H_2BO_3^-$, HBO_3^{2-} , o BO_3^{3-} . Se requiere en pequeñísimas cantidades y algunas plantas son muy sensibles a este elemento por lo que cantidades normales para algún cultivo, resultan tóxicas para otros. Participa en el metabolismo de los carbohidratos y facilita el transporte de azúcares formando un complejo permeable boro-azúcar aumentando la permeabilidad de la membrana celular. Otra función atribuida a este elemento es la inhibición de la formación del almidón por medio de una combinación con la parte activa de la fosforilasa, de esta manera, el boro tiene una función protectora al prevenir la excesiva polimerización de los azúcares en las situaciones de síntesis del azúcar. El boro es requerido tanto para la división como para la elongación celular y participa en la biosíntesis de la lignina por lo que se considera también juega un papel importante en la diferenciación del xilema.

Síntomas de deficiencia de Boro.

El boro es similar al calcio en cuanto a su movilidad y permanece inmóvil en la mayoría de las especies. La sensibilidad a la deficiencia de este elemento varía considerablemente entre las plantas siendo las dicotiledóneas mucho más sensitivas que las monocotiledóneas.



El ápice de la raíz es la primera parte de la planta en exhibir los síntomas de la deficiencia de boro, los cuales muestran una raíz translúcida y a menudo rodeada de una capa mucilaginosa. Posteriormente a la raíz, son afectadas las yemas terminales de las partes aéreas, las yemas axilares y las yemas florales. Estas estructuras se vuelven amarillentas, luego necróticas y finalmente se desprenden de la planta. Las hojas jóvenes de la planta a menudo son de un color verde oscuro, esponjosas y malformadas (figura

anterior). En tabaco, la base de las hojas jóvenes se vuelve necrótica. En tubérculos se presenta el “corazón pardo” caracterizado por manchas oscuras en las partes más gruesas del tubérculo o porque se parten del centro.



Fotografía16. Plantas de *G. crinita* cultivadas en solución nutritiva sin B.

Primero aparece clorosis en las hojas más jóvenes que se va intensificando en los órganos más tiernos hasta aparecer necrosis por los bordes y ápices del tallo, mientras que en las hojas más adultas las clorosis es menos, tallos con entrenudos cortos, raíces cortas y (Fotografías16 y 17).

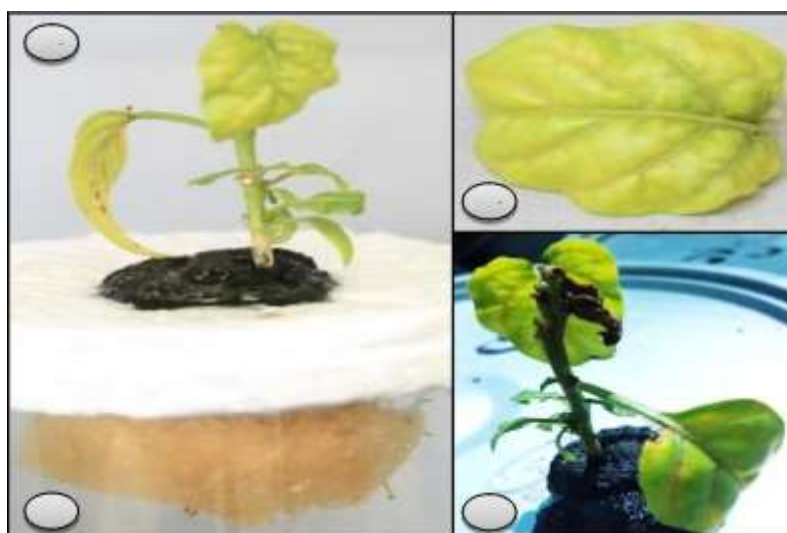


Foto 4. A) Planta, B) Raíces, C) Hoja, D) Tallo; del tratamiento con deficiencia de Boro en ají charapita “*Capsicum frutescens* L.”.

En la **foto 5**, se presenta el aspecto general en cuanto a tamaño y apariencia de la planta deficiente de Boro (SN-B) y de la planta testigo (SNC), hasta los 60 días de establecimiento del cultivo de ají charapita en solución nutritiva.

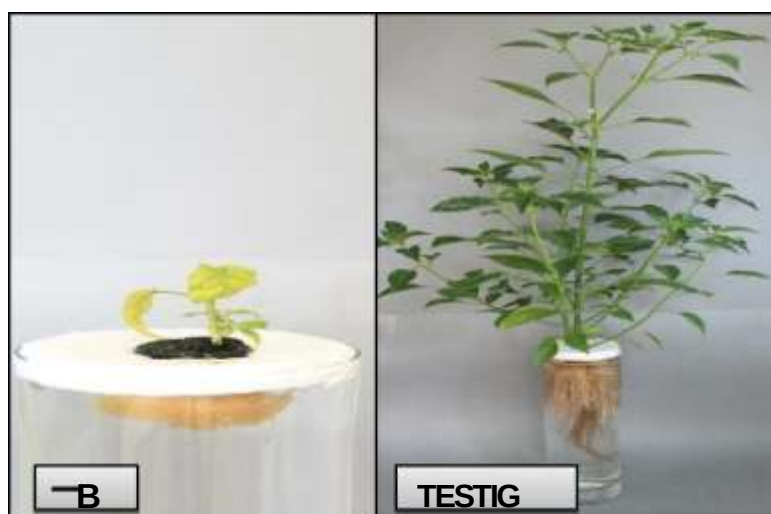


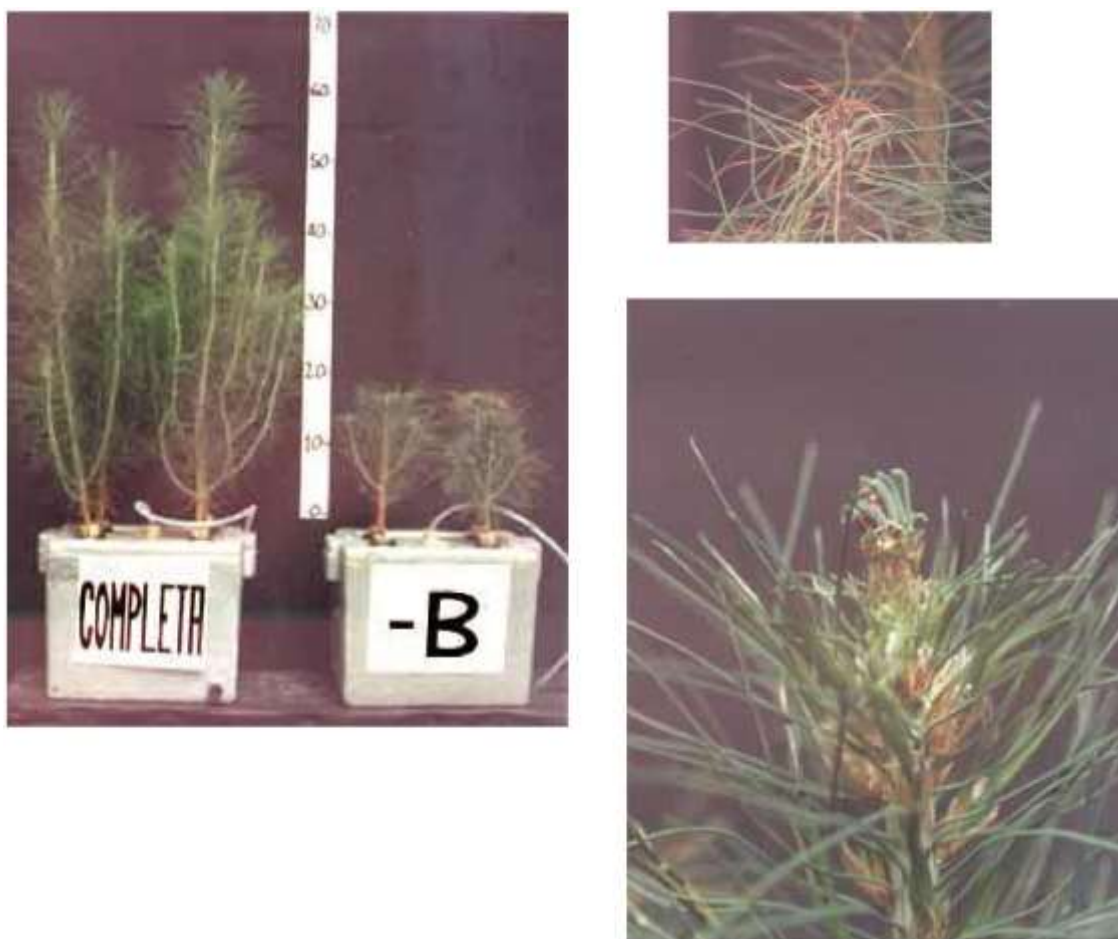
Foto 5. Comparación entre planta deficiente de Boro y planta testigo.

En la **foto 4**, se presentan los síntomas de deficiencia obtenidos por la carencia del elemento Boro. Debido a la carencia de este elemento las plantas presentaron retraso y disminución del crecimiento (Foto 4A). Los síntomas aparecieron a los 18 días (d/t.), en las hojas jóvenes, tornándose de color verde pálido, donde se observaron pequeñas áreas cloróticas, que posteriormente se expandió por toda la región internodal incluyendo las nervaduras; a partir de los 30 días (d/t.), se manifestó un crecimiento deforme y retorcida con abultamiento del haz a consecuencia de un enrollamiento hacia el envés (Foto 4C), asimismo a los 48 días (d/t.), las hojas adquieren textura gruesa, volviéndose quebradizas y pequeñas, que luego presentan un severo secamiento y caída. Los tallos se mostraron cortos de color verde oscuro (Foto 4A), con presencia de pequeños brotes, no presentaron ramas, ni flores, posteriormente a los 52 días (d/t.), se observa la muerte descendente del punto de crecimiento o ápice tanto del tallo (Foto 4D), como de las raíces (Foto 4B), provocando la muerte de la planta. La emisión de

raíces fue casi nula, de color crema, delgadas y muy pequeñas a comparación con el testigo.

Los síntomas observados en ají charapita se corrobora con los síntomas observados por Hernández y Pacheco (1986), en el cultivo de Cardomo (*Elettaria cardamomum* Maton), quienes indican que los síntomas de boro se manifiesta con el crecimiento deforme y retorcido de las hojas más jóvenes de la planta, se observan en la lámina áreas pequeñas carentes de clorofila que luego se extienden en la región intervenal. Cuando la deficiencia persiste hay muerte del meristemo.

La deficiencia de boro en ají charapita presentó muerte del punto de crecimiento tanto del tallo como de la raíz, al ser este un elemento que actúa en la división, diferenciación y elongación de las células de los tejidos merismáticos; acumulándose en los tejidos viejos de la planta y su traslado a los jóvenes se hace con dificultad, por ello los síntomas de carencia se manifiestan primeramente en brotes y hojas jóvenes (Navarro y Navarro 2003).



Las plantas con deficiencias presentaron una forma arbustiva, muerte regresiva del meristema apical, rebrote de las yemas laterales, que permanecían enanas sin alcanzar un buen desarrollo, muriendo posteriormente. Las acículas presentaron clorosis que se iniciaba en las puntas, extendiéndose hacia la base. En **Pinus oocarpa**, las acículas se mostraron retorcidas aparentando un tirabuzón. Los ípices vegetativos en algunos casos se doblan formando una jota, así mismo se presentó una abundante resina blanquecina en el tallo. La deficiencia de boro en **Pinus caribaea**, se caracteriza por la presencia de bandas necróticas en las acículas. Las acículas en fascículo se reducen. Se evidencia la exudación de resina en diferentes partes de la planta. El meristema apical toma la forma de un bulbo, siguiendo la muerte regresiva que se acentúa al transcurrir el tiempo. El crecimiento en longitud de las plantas cesa, presentándose un aspecto achaparrado.

Proporciones aproximadas en las plantas: Las proporciones de boro en las plantas varía entre 2-75 ppm en base al peso seco. Las deficiencias de boro en una gran cantidad de plantas, está caracterizada por niveles menores de 15 a 20 ppm en la materia seca. Los niveles adecuados se encuentran entre 25 a 100 ppm; mientras que cantidades superiores a 200 ppm están asociados a

síntomas de toxicidad. El contenido crítico de B se consideró de 8 ppm, pero trabajos realizados en Australia indican que este nivel varía con la precipitación. El contenido de boro en acículas de **Pinus caribaea** que crece en una solución nutritiva completa es de 35,6 ppm, mientras que las acículas de las plantas deficientes muestran un contenido de 11,2 ppm. Las deficiencias de boro se pueden corregir aplicando bórax soluble que contiene 10% de B, aunque su impacto es de vida corta. Actualmente se recomienda utilizar borato de calcio por ser más apropiado.

CLORO

Símbolo: Cl, elemento químico, electronegativo, no metálico, segundo miembro más ligero de los elementos halógenos, del grupo VIIa de la tabla periódica, gas industrial corrosivo. Por su gran actividad química, no se encuentra libre en la naturaleza, sino combinado con otros metales en forma de cloruros. Es un gas amarillo verdoso, de olor penetrante, desagradable e irritante.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva del griego chloros, que significa verde amarillento.

Número atómico: 17

Peso atómico: 35,453

Punto de fusión: -103°C

Punto de ebullición: -34°C

Densidad: (1 atm, 0°C) 3,214 g/litro

Estado común de oxidación: -1, +1, +3, +5, +7

Estado natural: El cloro comprende cerca de 0,031% de la corteza terrestre. En forma libre ha sido reportado como un constituyente muy pequeño de los gases volcánicos de los cuales el cloruro de hidrógeno es un componente relativamente común. El cloro, en la forma iónica Cl⁻, es el principal anión presente en las aguas oceánicas (1,9% en peso) y en los mares interiores como el mar Caspio, el mar Muerto y el gran lago salado de Utah. Se hallan pequeñas cantidades de cloro en rocas ígneas, con un valor promedio de 500 ppm. Los principales minerales portadores de cloro son, cloroapatita, sodalita y scapolita. En las regiones áridas, especialmente en la vecindad de lagos salados, el Cl se puede acumular sobre la superficie del suelo, permanente o estacionalmente formando costras salinas. Los minerales de cloro liberan este elemento por meteorización. Los cloruros se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, ya que gran cantidad de éstos son transportados del mar hacia el interior de los continentes, donde se precipitan en forma de lluvia. El elemento cloro se presenta en los suelos como cloruro, en esta forma

es fácilmente lavado, excepto en los suelos alofónicos que retienen varios miliequivalentes de Cl^- por cada 100 g de suelo, especialmente con pH bajo donde las cargas positivas aumentan.

Características generales: El cloro es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas superiores y animales superiores, donde actúa en la producción del ácido clorhídrico necesarios para la digestión, estando el cloruro sódico normalmente incluido en su dieta para suplir estas necesidades.

El anión cloruro (Cl^-) es absorbido por las plantas de la solución del suelo, sin embargo no se ha reportado la pérdida de un cultivo por deficiencia de cloruro. Se ha observado que los cultivos de tabaco y cebada aumentan su rendimiento al abonar con cloruros.

El ión cloruro es un regulador de la presión osmótica y produce el balance de los cationes en la savia celular de las células vegetales. Una de las funciones del Cl^- es la de actuar como anión durante los flujos rápidos de H_2O , contribuyendo así a mantener la turgencia, como en el caso de la distensión de las células guardianes. La pérdida de la turgencia celular es un síntoma de la deficiencia de ión Cl^- .

El ión Cl^- es esencial en el proceso de la liberación de oxígeno por cloroplastos aislados, en el Fotosistema II de la fotosíntesis.

Síntomas de deficiencia: Consiste en el marchitamiento de las hojas, clorosis, seguida por un bronceado, que finaliza en necrosis. Las raíces se vuelven enanas, pero gruesas o en forma de mazo cerca del ápice.

El elemento cuya esencialidad para los vegetales ha sido confirmada más recientemente. El marchitamiento de las hojas es el síntoma más frecuente observado en la deficiencia de cloro. En tomate aparece un color bronceado en las hojas, seguido de clorosis y necrosis

Proporciones aproximadas en las plantas: Las cantidades de cloruros encontradas en las plantas varían entre 100 - 300 ppm en base al peso seco. En plantas de papa (***Solanum tuberosum***) se han reportado deficiencias en cantidades en hojas de 0,21 ppm. Las concentraciones para un crecimiento normal de la planta oscila en un rango de 0,21 y 6 ppm.

El cloro es absorbido como un anión monovalente (Cl^-) y debido a que es aportado para la planta desde muchas fuentes (lluvia, reservas del suelo, fertilizantes, y contaminación del aire), es más común encontrar situaciones donde el cloro resulta tóxico, que encontrar deficiencias del mismo.

Usualmente el bromo se encuentra, en forma natural, en concentraciones mucho menores que el cloro (el cloro es 1000 veces más abundante que el bromo), pero en forma experimental cuando se aplica en una mayor

concentración, puede sustituir al cloro de una manera similar a la que el sodio sustituye al potasio. La reducción del crecimiento y los síntomas de deficiencia ocasionados por una deficiencia de cloro puede ser restaurada hasta en un 90% por una adecuada fertilización con bromo.

Entre los cultivos que responden a la presencia de este elemento están: tabaco, tomate, lechuga, chícharo, coles, zanahoria, remolacha azucarera, avena, maíz, papa y algodón.

MOLIBDENO

Símbolo: **Mo**, elemento químico, de color gris-plata, metal de transición del grupo VI b de la tabla periódica, utilizado por las plantas. Este elemento no se encuentra libre en la naturaleza.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva del griego molybdos, que significa plomo, derivado de la antigua creencia de que el mineral molibdenita como el grafito, eran compuestos de plomo.

Número atómico: 42

Peso atómico: 95,94

Punto de fusión: 2610 °C

Punto de ebullición: 5560 °C

Densidad: 10,2 g/cm³ a 20°C

Estado común de oxidación: 0, 2, 3, 4, 5, 6

Estado natural: Es un elemento relativamente raro. El contenido promedio de Mo en la litosfera es de 2,3 ppm. El contenido total de molibdeno en los suelos varía de 0,2 a 5 ppm, estando el valor promedio cercano a 2 ppm. Los ácidos diluidos o el acetato de amonio neutro normal, usualmente extraen menos de 0,2 ppm. El molibdeno existe en el suelo bajo tres formas, disuelto en la

solución del suelo como ión molibdato, MoO_4^{2-} , adsorbido en forma intercambiable y no intercambiable, como constituyente de los minerales del suelo y de la materia orgánica.

El molibdeno soluble. La concentración de ión molibdato en la solución del suelo es muy pequeña, variando su disponibilidad con el pH y con el estado del fósforo. Esta aumenta con el pH y si se encala un suelo incrementando su pH de 5,4 a 6,4 puede aumentar el contenido foliar de Mo en 500%.

El molibdeno intercambiable. La absorción del ión molibdato, se parece a la del sulfato y fosfato. Es probable que se intercambie con iones hidróxilos de los minerales arcillosos y óxidos hidratados. Los iones sulfato compiten débilmente y los iones fosfato fuertemente con los iones molibdatos por sitios de

intercambio. En este sentido se ha observado que la absorción de molibdato aumenta al caer el pH y que la absorción cause un aumento en el pH de la solución de equilibrio. Además, el ión molibdato se ha reportado fijado en forma no-intercambiable por óxidos de hierro hidratados, durante el proceso de laterización.

El molibdeno no intercambiable. Se encuentra en rocas ígneas como molibdenita y como el molibdato primario powelita y wulfenita, también se encuentra presente en la olivina y minerales arcillosos. En el suelo el molibdeno se encuentra presente en la materia orgánica y en óxidos hidratados.

Características generales: Grandes cantidades de molibdato pueden ser absorbidas por las plantas sin efectos tóxicos. El molibdato es un ácido débil que puede formar complejos polianiónicos con el fósforo, como el fosfomolibdato, posiblemente altas concentraciones son secuestradas bajo esta forma en las plantas. Gran parte del molibdeno se encuentra en la enzima nitrato reductasa de las raíces y tallos de las plantas superiores, la que cataliza la reducción del ión nitrato a nitrito. La nitrato reductasa de las plantas superiores se encuentra como una molibdo flavoproteína soluble, que en las hojas puede estar asociada con la envoltura de los cloroplastos. La enzima oxidada contiene casi siempre molibdeno. La enzima nitrato reductasa tiene el molibdeno enlazado de una forma reversible.

En las raíces noduladas de las plantas fijadoras de nitrógeno, el molibdeno se encuentra casi todo en la enzima nitrato reductasa y en la nitrogenasa de los bacteroides nodulares. Aunque los microorganismos poseen otras enzimas con molibdeno (sulfito oxidasa, aldehído oxidasa, xantina deshidrogenasa y oxidasa), no existen evidencias de la presencia de estas enzimas en las plantas superiores. La enzima nitrogenasa es actualmente un constituyente de las bacterias simbióticas y actinomicetes, mientras que la nitrato reductasa es la única enzima con Mo en las plantas superiores. Las plantas superiores pueden crecer en ausencia de Mo si se les suministra el nitrógeno en la forma de ión amonio.

El molibdeno es absorbido por las raíces de las plantas en forma de ión molibdato.

Síntomas de deficiencia: Las deficiencias de molibdeno no son comunes en huertos forestales, aunque al presentarse se puede reducir la fijación de nitrógeno en las plantas noduladas, fijadoras de nitrógeno. Las deficiencias de Mo se han reportado en hortalizas como el coliflor y el brócoli, donde se presenta la cola de l' tigo. Los síntomas se caracterizan por una clorosis entre las venas, que ocurre primero en las hojas viejas y que luego progresa hacia las hojas jóvenes.

Los síntomas de deficiencia comienzan con una clorosis intervenal pudiendo confundirse con una deficiencia de manganeso. Las zonas cloróticas pueden necrosarse logrando que la hoja se seque por completo. La floración se ve fuertemente inhibida y si llegan a formarse flores éstas caen antes de producir fruto. En coliflor puede observarse un síntoma muy característico de deficiencia de molibdeno, que consiste en que los tejidos de la hoja se secan por completo, quedando solamente el nervio central y algunos restos de lámina foliar se conoce a este síntoma como "cola de látigo" por el aspecto que toma la hoja.



Fotografías 14. Plantas de *G. crinita* cultivadas en solución nutritiva sin Mo.

hojas viejas con clorosis internerval poco notorias, achaparramiento de la planta en brotes nuevos y entrenudos totalmente cloróticos y pequeños o con manchas de color marrón claro, hojas enteras cercanas al ápice con punteaduras o manchas necróticas y de color marrón dispersas en el limbo, raíces poco desarrolladas y mayormente trucas (Fotografías 14 y 15).

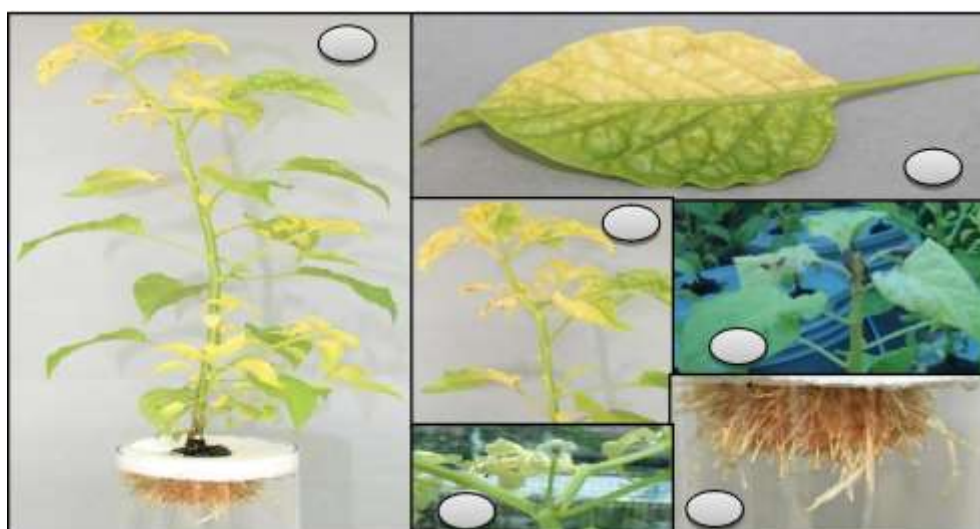


Foto 8. A) Planta completa, B) Hoja, C) Tallo, D) Flor, E) Ápice , F) Raíces; del tratamiento con deficiencia de Molibdeno en ají charapita "*Capsicum frutescens* L."

En la **foto 8**, se presentan los síntomas de deficiencia obtenidos por la carencia del elemento Molibdeno. Debido a la carencia de este elemento las plantas reflejaron crecimiento lento (Foto 8A). A igual que en el T3 (SN–Mn), los síntomas aparecieron a los 35 días (d/t.), con una clorosis generalizada en los brotes apicales, incluyendo las hojas medias y los nuevos brotes de la planta (Foto 8A), las hojas jóvenes presentaron tamaño reducido y abultamiento internerval, mostrando clorosis muy marcadas en zonas internervales que se mueve hacia el ápice, en algunas desde los márgenes hacia la nervadura principal (Foto 8B), que posteriormente a partir de los 45 días (d/t.), fueron mostrando pequeños y diminutos puntos necróticos en los bordes de la nervadura principal y márgenes de la lámina (Foto 8B), como también en el ápice de la planta, que luego se expanden provocando secamiento y la eventual muerte de estas (Foto 8E), a los 55 días (d/t.). Los tallos se mostraron verde claro, delgados y débiles (Foto 8C), presentaron reducido número de ramas, emitieron número reducido de flores (Foto 8D), las cuales no llegaron a formar frutos debido al aborto y caída prematura de estas a comparación con el testigo. La emisión de raíces fue abundante, de color crema, delgadas y pequeñas, necrosadas en el ápice (Foto 8F), al igual que en el T2 (SN–B) y en el T3 (SN–Mn), a comparación con el testigo.

Los síntomas observados en ají charapita no se asemejan a lo reportado por Baeyens (1970), al indicar que los síntomas de deficiencia de molibdeno se parecen a los del nitrógeno, porque la clorosis (amarillamiento), avanza desde las hojas más viejas hasta las más jóvenes, las que se ahuecan y se queman en los bordes.

Al respecto (Navarro y Navarro 2003), indican que la deficiencia de molibdeno presenta un crecimiento lento de la planta y una reducción de la floración.

En la **foto 9**, se presenta el aspecto general en cuanto a tamaño y apariencia de la planta deficiente de Molibdeno (SN–Mo) y de la planta testigo (SNC), hasta los 60 días de establecimiento del cultivo de ají charapita en solución nutritiva.

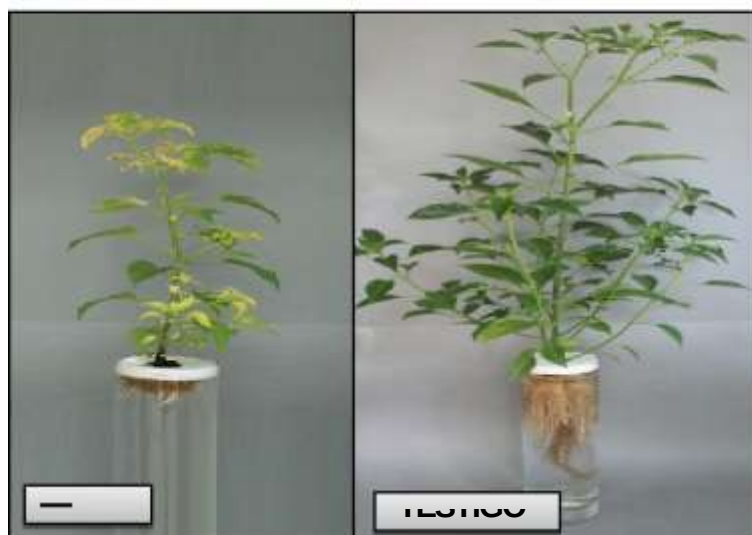


Foto 9. Comparación entre planta deficiente de Molibdeno y planta testigo.

En algunos casos, como en la enfermedad de "cola de l' tigo", las plantas no se tornan cloróticas, sino que las hojas jóvenes crecen de forma enrollada, muriendo posteriormente. Cuando los suelos son ácidos, el encalado aumenta la disponibilidad de molibdeno, eliminando o reduciendo la severidad de esos desórdenes nutricionales.

Proporciones aproximadas en las plantas: Normalmente se encuentra una parte por millón de Mo en base al peso seco de tejido foliar sano. En general las proporciones de molibdeno encontradas en las plantas varían entre 0,01 a 505 ppm en base al peso seco del tejido; mientras que los niveles aceptables se encuentran por encima de 0,6 ppm en hojas. Se han reportado deficiencias con cantidades que varían entre 0,01 - 0,6 ppm en base al peso seco.

El molibdeno es absorbido por las raíces de las plantas como un ion divalente MoO_4^{2-} . El requerimiento de molibdeno es el más bajo que para cualquiera de los demás nutrientes. Las funciones del molibdeno están relacionadas con el cambio de valencias como un componente de enzimas. En su estado oxidado existe como Mo (VI) y es reducido a Mo (V) y eventualmente a Mo (IV).

Las enzimas que contienen molibdeno como un cofactor son: xantina oxidasa-deshidrogenasa, aldehído oxidasa, sulfito oxidasa, nitrato reductasa y nitrogenasa. En la enzima nitrato reductasa existen dos átomos de molibdeno y esta enzima cataliza la reducción de nitrato a nitrito por un cambio reversible de valencias. También la molécula de la enzima nitrogenasa contiene dos átomos de molibdeno por lo que el molibdeno está directamente involucrado en la reducción del nitrógeno.

Síntomas de deficiencia de Molibdeno.

La falta de molibdeno en el suelo provoca la aparición de manchas cloróticas intervenales en las hojas inferiores, seguido de una necrosis marginal y de un

repliegue de la hojas. En general las plantas deficientes en molibdeno producen hojas deformes con los márgenes irregulares lo que hace que las hojas estén menos anchas y con una menor área foliar.



En la coliflor, los tejidos foliares se mustian dejando solamente la nervadura central y unos pocos fragmentos del limbo foliar ("punta de látigo").

OLIGOELEMENTOS CATIONICOS (Zn,Fe,Cu,Mn,Ni,Na)

ZINC

Símbolo: **Zn**, elemento químico, metálico de bajo punto de fusión, perteneciente al grupo IIb (grupo de Zinc) de la tabla periódica, esencial para la vida y uno de los metales más ampliamente utilizados. Es un metal blanco cristalino, quebradizo a la temperatura ordinaria. No se encuentra puro en la naturaleza.

Etimología del nombre y del símbolo: La palabra cinc se deriva del griego Zink, y fue usada por primera vez por Paracelso en el siglo XVI y se aplicó a un metal que traían de las Indias Orientales con el nombre de "Tutanego".

Número atómico: 30

Peso atómico: 65,37

Punto de fusión: 419°C

Punto de ebullición: 907°C

Densidad: 7,13 g/cm³ a 20°C

Estado común de oxidación: +2

Estado natural: El cinc constituye cerca de 65 gramos por cada tonelada de corteza terrestre (0,0065%). La abundancia promedio de cinc en la litosfera es de 8 ppm. Los suelos normales contienen entre 10-30 ppm de cinc total, lo que no se correlaciona con su disponibilidad.

En cinc se encuentra en suelos y rocas en la forma divalente Zn^{2+} . El contenido de cinc soluble aumenta al disminuir el pH y viceversa. El carbonato de calcio también reduce fuertemente su disponibilidad. El encalado excesivo produce una deficiencia del elemento. El cinc es adsorbido de una forma intercambiable por los minerales y la materia orgánica del suelo. El cinc se puede fijar sobre ciertos minerales como la bentonita, kaolinita, moscovita, biotita, arcilla magnética y vermiculita, bajo esa forma no es aprovechable por las plantas. En la fracción mineral de los suelos el Zn se encuentra principalmente en minerales ferromagnéticos, tales como la biotita, magnetita, hornblenda y sulfuro de cinc (ZnS). Muchos de estos minerales son meteorizados y el Zn liberado se absorbe probablemente a los coloides, como un catión divalente (Zn^{2+}) o forma complejos con la materia orgánica.

Características generales: El cinc es un microelemento esencial que sirve como cofactor enzimático, con muchas funciones, ya que el Zn debe ser esencial para la actividad, regulación y estabilización de la estructura proteica o una combinación de estas. Existen tres enzimas vegetales donde se ha realizado la determinación del Zn enlazado, que son: deshidrogenasa alcohólica, anhidrasa carbónica y la dismutasa de superóxidos. Sin embargo, la producción de la deficiencia de Zn en plantas con su efecto drástico sobre la actividad enzimática, desarrollo de los cloroplastos, contenido de proteínas y ácidos nucleicos, más la dependencia de algunas enzimas aisladas de la adición de Zn, hacen pensar que las mismas enzimas dependientes de Zn en otros organismos, dependerán de Zn en las plantas superiores también. Así mismo, hay interés en conocer las propiedades del Zn que hacen que este elemento sea requerido por la anhidrasa carbónica, varias deshidrogenasas, superóxido - dismutasa, la piridin nucleotido deshidrogenasa, ARN y ADN polimerasas, fosfatasa alcalina, fosfolipasas, carboxi y amino peptidasas, síntesis de triptófano y ácido indolacético, estabilidad ribosomal, así mismo tiene otras funciones como cofactor de enzimas.

Síntomas de deficiencia: Los primeros síntomas de deficiencia de Zn observados en el campo son la hoja pequeña y en roseta de los árboles frutales, lo que resulta en la reducción en tamaño de las hojas y de la longitud de los entrenudos. El pino de Monterrey de Australia presenta un síntoma bien

definido de esta deficiencia, la que consiste en el tope aplastado. Dependiendo del cultivo, el trastorno se denomina con media docena de nombres diferentes, tales como la yema blanca (en el maíz y el sorgo), hoja moteada o "frenching" (citrus) y la hoja falcada (cacao). Los síntomas de deficiencia en maíz incluyen la clorosis y el achaparrado de las plantas; también las hojas de los nuevos brotes muestran unas bandas amarillas a blancuzcas en la parte inferior de las hojas.



La deficiencia de cinc en el maíz ocasiona la formación de manchas cloróticas que se agrandan rápidamente, con zonas muertas pequeñas o más grandes (desde un aclaramiento a una coloración blanca). Los aclaramientos en forma de bandas aparecen solo a la izquierda y a la derecha de la nervadura principal y únicamente en la mitad inferior de la hoja. Las plantas muestran un crecimiento comprimido y hay un espacio reducido entre los pisos foliares. En el maíz, las hojas más jóvenes son mayormente gruesas, frágiles y muy pequeñas ("hojas pequeñas"), así como muestran un color que va de verde pálido a blanco amarillento ("brotes blancos"). En caso de deficiencia de cinc, las mazorcas son mayormente más delgadas y más claras por el retraso en la maduración que las de las plantas con un suministro suficiente de cinc. Para evitar la carencia de cinc se recomienda la aplicación foliar con EPSO Combitop® a fin de favorecer la división celular y el crecimiento



Fotografías 9. Plantas de *G. crinita* cultivada en solución nutritiva sin Zn.

Apareció primero clorosis internerval en las hojas más viejas en forma poco notorias, luego clorosis fue más notoria en las hojas más jóvenes, luego la clorosis se vio en forma generalizada en toda la planta dejando una franja de color verde en las nervaduras principales y secundarias con áreas verdes adyacentes a las nervaduras. Hojas ligeramente curvadas hacia arriba. Tallos principales, plagiotrópicos y raíces medianamente desarrollados en relación con la solución completa. Finalmente, raíces poco poblada y corta. (Fotos 9 y 10).

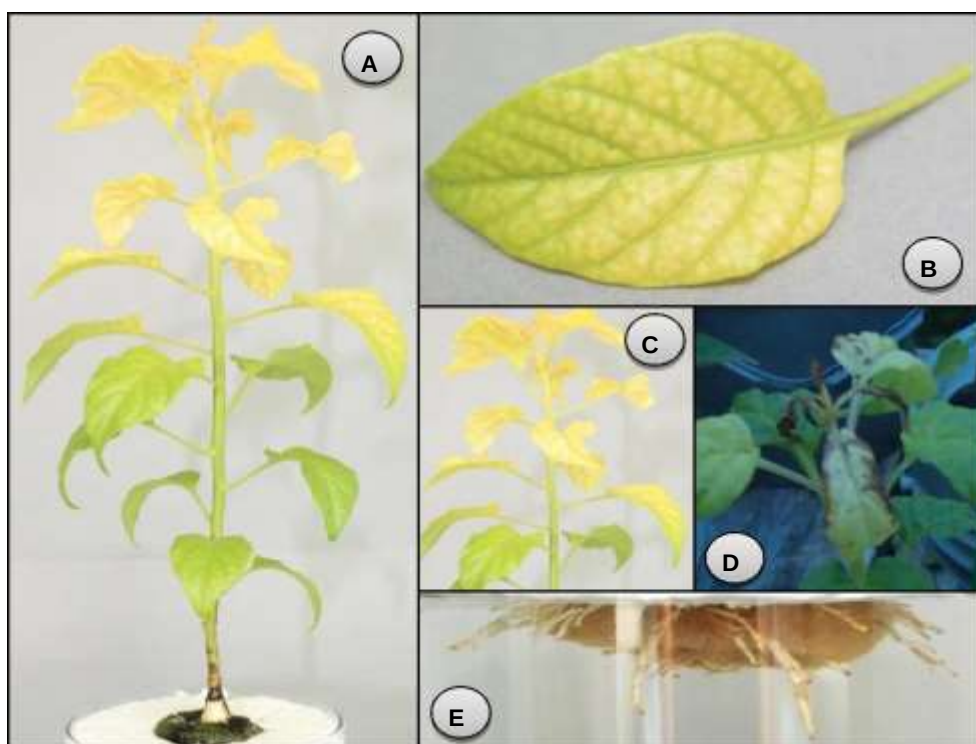


Foto 10. A) Planta completa, B) Hoja, C) Tallo, D) Ápice, E) Raíces; del tratamiento con deficiencia de Zinc en ají charapita "*Capsicum frutescens* L.".

En la **foto 10**, se presentan los síntomas de deficiencia obtenidos por la carencia del elemento Zinc. Debido a la carencia de este elemento las plantas presentaron crecimiento lento (Foto 10A). A igual que en el T3 (SN—Mn) y en el T4 (SN—Mo), los síntomas aparecieron a los 35 días (d/t.), con una clorosis generaliza en los brotes apicales que luego se expandió hacia la parte media de la planta (Foto 10A), involucrando las hojas jóvenes mostrándose encurvadas hacia el envés presentando tamaño reducido, con clorosis muy marcadas en zonas internervales que se mueve hacia el ápice manteniéndose verdes las nervaduras (Foto 10B), que posteriormente a partir de los 45 días (d/t.), se tornaron pequeñas manchas o puntos necróticos en los bordes, como también en el ápice de la planta, que luego se expanden provocando el secamiento y la eventual muerte de estas (Foto 10D), a los 53 días (d/t.). Los tallos se mostraron verde pálido, delgados y débiles (Foto 10C), no presentaron ramas, ni flores a comparación con el testigo. La emisión de raíces fue muy escasas de color crema, pequeñas y necrosadas en el ápice (Foto 10E), al igual que en el T3 (SN—Mn), en el T4 (SN—Mo) y en el T2 (SN—B), a comparación con el testigo.

Los síntomas observados en ají charapita se asemejan a lo reportado por Guzmán (2004), al indicar que en muchas plantas deficientes de Zinc, se afecta primeramente el crecimiento terminal. Hay una disminución en la longitud del tallo y un enrosetado o espiralado de las hojas. Además Donahue (1982), menciona que los síntomas de la deficiencia de un nutriente en particular pueden variar según la especie de la planta.

Al respecto Navarro y Navarro (2003), mencionan que los síntomas de deficiencia en Zinc, comienzan siempre en las hojas jóvenes con amarillamiento progresivo y disminución de tamaño. Lo nervios permanecen verde. En las hojas adultas, solo en ocasiones se aprecian estas alteraciones.

En la **foto 11**, se presenta el aspecto general en cuanto a tamaño y apariencia de la planta deficiente de Zinc (SN—Zn) y de la planta testigo (SNC), hasta los 60 días de establecimiento del cultivo de ají charapita en solución nutritiva.

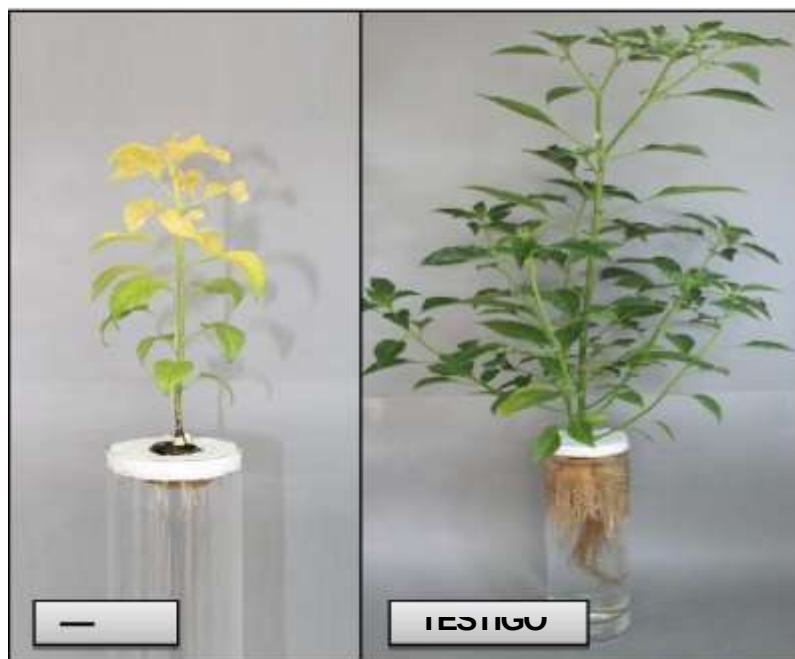


Foto 11. Comparación entre una planta deficiente de Zinc y una planta testigo.

Los primeros síntomas corresponden a una clorosis localizada entre los nervios de las hojas más viejas, que se suele iniciar en el ápice y en los bordes. Se produce un retardo en el crecimiento que se manifiesta en forma de hojas más pequeñas y entrenudos más cortos. El aspecto irregular de las hojas es quizás el síntoma más fácil de reconocer. En casos extremos, la floración y la fructificación son frecuentemente dañados. La planta entera adquiere un aspecto de roseta o achaparrado.

Proporciones aproximadas en las plantas: Las proporciones de Zn en las plantas varían entre 3 a 150 ppm en base al peso seco, mientras que los niveles de deficiencia del elemento en las hojas se encuentran por debajo de 20 a 25 ppm en base al peso seco. Los niveles apropiados caen entre 25 a 150 ppm, pero cuando sobrepasan los 400 ppm, pueden ser excesivos, produciendo toxicidad.

El zinc es absorbido como un catión divalente (Zn^{2+}); en un pH alto, probablemente es absorbido como un catión monovalente ($ZnOH^{+}$). Una alta concentración de otros iones divalentes como Ca^{2+} inhiben la absorción del zinc. El zinc actúa tanto como un componente metal de enzimas, como un cofactor funcional, estructural o regulatorio de un gran número de enzimas. Como componente de enzimas, el zinc está contenido en al menos cuatro de ellas: alcohol deshidrogenasa, superóxido Cu-Zn dismutasa, anhidrasa carbónica y la RNA-polimerasa. Como cofactor funcional, el zinc activa enzimas como: aldolasas, deshidrogenasas, isomerasas, transfosforilasas y RNA y DNA-polimerasas. También el zinc ha sido asociado con la síntesis de proteínas en la planta ya que al presentarse una deficiencia de zinc, la síntesis

de proteínas se reduce y se presenta una gran acumulación de aminoácidos y amidas.

Quizás el papel más distintivo del zinc en la planta sea su intervención en el metabolismo de las auxinas. El zinc es requerido para la síntesis del triptofano, el cual es el precursor del ácido indolacético.

Síntomas de deficiencia de Zinc.

El síntoma más característico de una deficiencia de zinc es la reducción del tamaño de la planta en general, provocado por una reducción de los entrenudos. En la mayoría de las plantas, una falta de zinc provoca un tipo de crecimiento en roseta.



En maíz, aparece una banda amarillo clara en el centro de la hoja a través de la nervadura central, además de la presencia de venas rojizo-purpúreas entre la vena central y el borde de la hoja, principalmente en su mitad inferior.

En los cítricos y en tomate (figura anterior) se presenta una clorosis intervenal irregular; las hojas terminales se achican y estrechan; la formación de yemas frutales se reduce en gran medida; las ramas jóvenes se mueren. En durazno, las hojas jóvenes se arrugan y los bordes se ondulan además de presentarse una clorosis intervenal.

HIERRO

Símbolo: **Fe**, elemento químico metálico de transición, perteneciente al grupo VIII de la tabla periódica, el metal más usado y barato, ferromagnético, esencial para la vida biológica. El hierro puro es de color blanco, es dúctil y maleable. No se encuentra libre en la naturaleza, sino formando aleaciones.

Etimología del nombre y del símbolo: Su nombre se deriva del Latín ferrum, que significa hierro.

Número atómico: 26

Peso atómico: 55,847

Punto de fusión: 1535°C

Punto de ebullición: 3000°C

Densidad: 7,86 g/cm³ a 20°C

Estado común de oxidación: +2, +3, +4, +6

Estado natural: El hierro constituye el 5% de la corteza terrestre, segundo en abundancia después del aluminio entre los metales y cuarto en abundancia detrás del oxígeno y sílice. El hierro que constituye el centro de la tierra, es el elemento más abundante como un todo (cerca del 35%), encontrándose también en el sol y las estrellas.

El hierro en el suelo existe en forma divalente y trivalente. Muchos suelos cultivados tienen un bajo contenido de hierro disuelto en la solución del suelo y adsorbido en forma intercambiable.

Altas concentraciones de hierro disuelto se encuentran en suelos forestales podzólicos. El hierro en la forma ferrosa entra en el complejo de intercambio iónico de los suelos. La forma férrica es fuertemente adsorbida por los coloides del suelo, con los que forma complejos con los ácidos húmicos y coloides orgánicos; sin embargo, puede ser transportado por el agua. El contenido de hierro férrico aumenta al aumentar la acidez, alcanzando grandes concentraciones solamente en suelos muy ácidos, con pH menores de 3 y en suelos ricos en ácidos húmicos y coloides capaces de formar complejos solubles con hierro. Los suelos bajo condiciones reductoras o anegados tienen un alto contenido de hierro ferroso.

El hierro no intercambiable está presente en varios minerales primarios, tales como biotita, hornblenda, augita y olivina. El hierro se encuentra en cantidades apreciables en los minerales oxidados hidratados similares a la goetita y limonita, y como sulfuros en las piritas. Se encuentra también presente en complejos orgánicos.

Características generales: El hierro es un microelemento esencial, forma parte de citocromos, proteínas y participa en reacciones de oxido-reducción. En las hojas casi todo el hierro se encuentra en los cloroplastos, donde juega un papel importante en la síntesis de proteínas cloroplásticas. También forma parte de una gran cantidad de enzimas respiratorias, como la peroxidasa, catalasa, ferredoxina y citocromo-oxidasa.

Presumiblemente el ión requerido en el metabolismo es el ferroso , en cuya forma es absorbido por la planta, ya que es la forma de mayor movilidad y disponibilidad para su incorporación en estructuras

biomoleculares. Ciertamente el ión férrico se forma y parte de éste es translocado a las hojas como un quelato aniónico del citrato, donde aparece como una ferrifosfoproteína, la fitoferritina. Mediante microscopía electrónica se ha demostrado la presencia de gránulos de fitoferritina en cloroplastos en vías de desarrollo y senescencia.

El hierro participa en reacciones de óxido-reducción en proteínas con y sin el grupo heme. Las metaloproteínas con hierro participan en reacciones de óxido-reducción como deshidrogenasas y agentes reductores (proteínas Fe-S y ferredoxina), acopladas a reacciones de transferencia de electrones (citocromos del tipo b y c), oxidasas (citocromo-oxidasa), peroxidasas (catalasa y peroxidasa), oxigenasas con y sin heme (citocromo P450, monooxigenasa y dioxigenasa). Aunque sin haber una reacción de óxido-reducción, en la oxigenación reversible de la leghemoglobina (presente en los nódulos de las raíces de leguminosas), participan propiedades de coordinación similares a la asociación porfirina- .

A pesar de que la mayor parte del hierro activo de la planta, participa en reacciones de óxido-reducción a nivel de cloroplastos, mitocondrias, peroxisomas, existe un requerimiento de hierro en la síntesis de porfirinas, la cual se pone de manifiesto en la clorosis producida por carencia de hierro. En la enzima aconitasa el ión ferroso se une al ión citrato y a la enzima en el sitio catalítico; no conociéndose aún el requerimiento específico del ión ferroso .

En los microorganismos procariotes fijadores de nitrógeno, el hierro forma parte del complejo enzimático nitrogenasa, la cual consta de dos componentes, que se conocen actualmente como proteína 1 (llamada antiguamente molibdoferredoxina) y proteína 2 (llamada antiguamente azoferredoxina). La proteína 2 es una proteína con azufre y hierro, muy sensible al oxígeno, que contiene 4 átomos de hierro y 4 átomos de azufre. La proteína 1 contiene 2 átomos de Mo, 24 átomos de Fe y 24 átomos de S. La nitrato-reductasa, contiene una hemina, la sirohemia que contiene 6 átomos de hierro y 4 átomos de azufre, por mol de sirohemia.

Síntomas de deficiencia: En suelos ácidos se puede inducir una deficiencia de hierro cuando se presentan metales pesados en exceso, como Zn, Cu, Mn ó Ni. Un exceso de manganeso en el suelo se ha reportado como causa de una deficiencia de hierro en piña (*Ananas comosus*) y un exceso de cobre como causante de clorosis en naranjos de la Florida. La deficiencia de hierro producida por la presencia de metales pesados, se puede corregir utilizando un quelato de hierro sintético, el ácido etilendiamina tetra-ácetico (Fe-EDTA).

Hierro.

Debido a la relativa inmovilidad de este elemento, el síntoma más característico es una clorosis general de las hojas jóvenes, que puede comenzar como intervenal, pero al cabo del tiempo también los nervios acaban perdiendo la clorofila. La deficiencia en hierro es bastante frecuente en árboles frutales.



Fotografía 4: Aspecto de las hojas de bolaina blanca cultivados en solución nutritiva sin Fe.

Efectos localizados, en las hojas superiores. Hojas superiores con clorosis generalizada, nervaduras principal de color verde claro y las laterales de color amarillo, hojas pequeñas o grandes, Ramas apicales con hojas pequeñas de color amarillo con necrosis por los bordes en forma irregular; tallos principales y ramas plagiotrópicas con entrenudos poco desarrollados, tallos delgados,. Raíces largas o cortas, poco pobladas, por aparente muerte por asfixia de las raíces secundarias.(Fotografías 4 y 5).

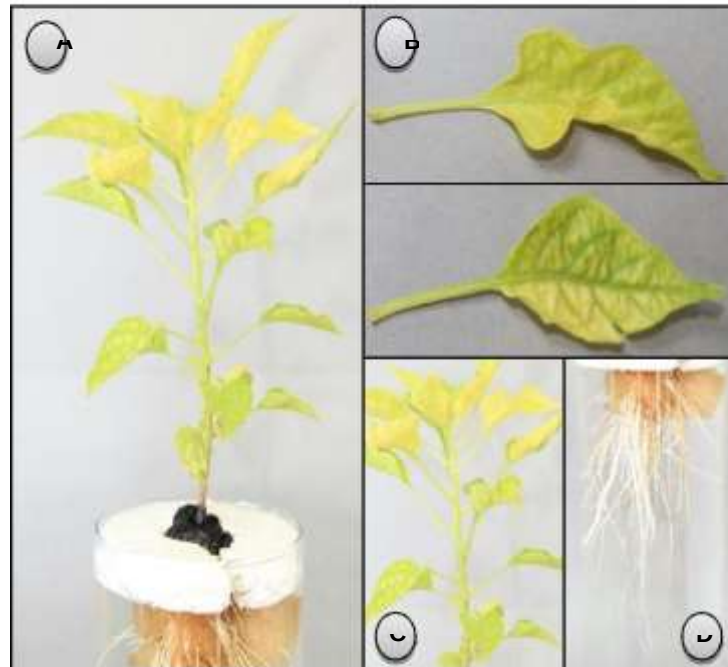


Foto 2. A) Planta completa. B) Hojas, C) Tallo, D) Raíces; del tratamiento con deficiencia de Hierro en ají charapita "*Capsicum frutescens* L."

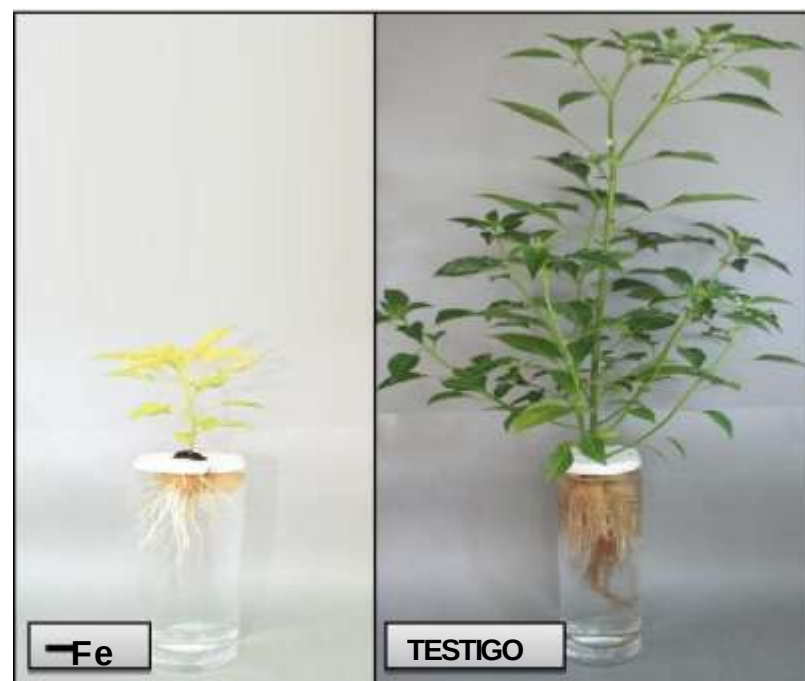


Foto 3. Comparación entre planta deficiente de Hierro y planta testigo.

En la **foto 3**, se presenta el aspecto general en cuanto a tamaño y apariencia de la planta deficiente de Hierro (SN-Fe) y de la planta testigo

(SNC), hasta los 60 días de establecimiento del cultivo de ají charapita en solución nutritiva.

En la **foto 2**, se presentan los síntomas de deficiencia obtenidos por la carencia del elemento Hierro. Debido a la carencia de este elemento las plantas tuvieron un crecimiento lento (Foto 2A). Los síntomas aparecieron a los 7 días (d/t.), en las hojas jóvenes, mostrando una ligera clorosis en las áreas internervales, manteniéndose verde las nervaduras (Foto 2B), a comparación con el testigo, posteriormente en las hojas apicales se tornaron puntos necróticos que se expandieron por toda la hoja, provocando secamiento y su eventual caída de estas. A medida que la deficiencia continúa a partir de los 45 días (d/t.), las hojas jóvenes se mostraron retorcidas y encurvadas hacia arriba (Foto 2B), toda la planta se mostró totalmente amarillento y el color verde solo se visualizó en las nervaduras, convirtiéndose así en una clorosis generalizada (Foto 2A). Los tallos se mostraron verde amarillento, delgados y débiles (Foto 2C), además no presentaron ramas ni flores y por consiguiente frutos, la emisión de las raíces fueron escasas de color blanquecino, delgadas y semi alargadas (Foto 2D), a comparación con el testigo.

Estos síntomas se corroboran con Ipiens (1954), al indicar que la deficiencia de hierro aparece en hojas jóvenes manteniéndose verde las nervaduras y un color amarillento del follaje. Esta clorosis podría explicarse debido a la poca cantidad de clorofila asociada al Hierro.

Al respecto Navarro y Navarro (2003), mencionan que los síntomas de deficiencia de hierro comienzan con un ligero amarillamiento de las zonas foliares intervenales en contraste con el color verde oscuro de sus nerviaciones. Cuando la enfermedad progresa las hojas van siendo cada vez más amarillas, y en los casos muy graves se llega a la ausencia total de clorofila. Hay que significar que los primeros síntomas aparecen en primer lugar, en las hojas jóvenes ya que el elemento es poco móvil en la planta.



El efecto más característico de la deficiencia de hierro es la incapacidad de las hojas jóvenes para sintetizar clorofila, tornándose cloróticas, y algunas veces de color blanco. El hierro es virtualmente inmóvil en la planta, quizás porque es precipitado como un óxido insoluble o en las formas de fosfatos férricos inorgánicos y orgánicos. La entrada de hierro en la corriente floemática es disminuida probablemente por la formación de esos compuestos insolubles. En todo caso, una vez que el hierro es llevado a un órgano por el xilema, su redistribución es fuertemente limitada.

La deficiencia de hierro en **Pinus caribaea**, se caracteriza porque las acículas terminales presentan una clorosis acentuada, que se torna de un amarillo pálido, mientras que las acículas basales permanecen verdes. Las zonas más jóvenes del tallo muestran un color crema claro que se puede tornar blanquecino. Se observa en algunas acículas necrosis apical. Las plantas muestran raquitismo y en la fase más avanzada, se afecta todo el desarrollo de la planta.

Proporciones aproximadas en las plantas: El contenido de hierro en los tejidos normales varía de 10-1500 ppm de peso seco, dependiendo de la parte de la planta y de la especie. En árboles de Citrus sinensis, se han observado deficiencias con cantidades en las hojas que oscilan entre 16 - 68 ppm y en Persea americana con cantidades en hojas de 26 - 40 ppm.

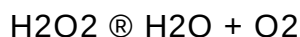
El contenido de hierro en acículas de **Pinus caribaea** que crecía en una solución nutritiva completa fue de 73.5 ppm, mientras que en las plantas con síntomas de deficiencia mostraban una concentración de 21 ppm.

La función del hierro en el metabolismo de la planta, básicamente se debe a la característica facilidad de este elemento para reducirse (Fe^{3+}) y oxidarse

(Fe²⁺). Debido a esta propiedad, el hierro forma parte importante de dos grupos bien definidos de proteínas que contienen hierro: las hemoproteínas y las proteínas hierro-azufre.

Las hemoproteínas mejor conocidas son los citocromos, las cuales contienen un complejo heme hierro-porfirínico como un grupo prostético. Los citocromos son constituyentes de los sistemas redox en los cloroplastos y en las mitocondrias; y como enzima citocromo-oxidasa, participa en el paso terminal de la cadena respiratoria.

Otras enzimas heme son la catalasa y las peroxidasas. La catalasa facilita la dismutación del peróxido de hidrógeno hacia agua y oxígeno de acuerdo a la ecuación:



Las peroxidasas son abundantes en las paredes celulares de la rizodermis y la endodermis en la raíz y existe suficiente evidencia de que las peroxidasas presentes en la rizodermis, juegan un papel muy importante en la regulación de la absorción del hierro.

De las proteínas hierro-azufre, la más importante es la ferredoxina, la cual actúa como un agente de transferencia de electrones en varios procesos metabólicos básicos (NADP⁺, en fotosíntesis; nitrito reductasa; sulfato reductasa; reducción del N₂).

El hierro también está contenido en otras enzimas como es la xantina oxidasa, que actúa en el metabolismo de la purina; la aconitasa, que cataliza la isomerización del citrato al isocitrato en el ciclo de Krebs. En la biosíntesis de la clorofila también está involucrado el hierro ya que controla la síntesis del ácido d-aminolevulínico el cual es el precursor de la molécula de clorofila. La incorporación de hierro o magnesio como el átomo central del tetrapirrol permite la formación de coenzimas heme o de Mg-protoporfirina respectivamente.

Síntomas de deficiencia de hierro.

Los síntomas de deficiencia del hierro se presentan como una clorosis típica, particularmente sobre suelos calizos; no obstante, no todos los suelos calizos inducen este tipo de clorosis.



Por ser el hierro un elemento pesado y poco soluble, los principales síntomas de deficiencia se presentan en las hojas jóvenes y consisten en una clorosis de la hoja con las nervaduras principales y secundarias de color verde. La deficiencia de hierro también está asociada con una inhibición de la elongación

celular, un incremento en el diámetro de la zona apical de la raíz y una abundante formación de pelos radicales. A nivel ultramicroscópico, la deficiencia de hierro se manifiesta en una inhibición del desarrollo del cloroplasto.

COBRE

Símbolo: Cu, elemento químico, metal extremadamente dúctil, perteneciente al grupo Ib de la tabla periódica, buen conductor del calor y de la electricidad. El cobre rojizo es hallado en estado metálico libre en la naturaleza.

Etimología del nombre y del símbolo: El cobre se representaba por el espejo de venus ; como los romanos lo obtuvieron primeramente en la isla de Chipre, del nombre de ésta deriva su nombre latino, cuprum, que significa cobre.

Número atómico: 29

Peso atómico: 63,546

Punto de fusión: 1083°C

Punto de ebullición: 2595°C

Densidad: 8,92 g/cm³ a 20°C

Estado común de oxidación: +1, +2.

Estado natural: El contenido promedio en la litosfera es de 70 ppm.; mientras que el contenido total de cobre en el suelo varía entre 2 a 100 ppm, de los cuales 1 ppm puede ser extraída con HCl diluido.

En los suelos el cobre se encuentra presente principalmente en la forma divalente. La concentración de Cu en la solución del suelo ordinario puede llegar a valores tan bajos como 0,01 ppm; mientras que la cantidad soluble en agua no excede de 1 ppm, esto es aproximadamente 1% del Cu total. Se considera que la fracción principal del Cu disuelto existe como complejo soluble de ácidos orgánicos, tales como cítrico y oxálico.

El cobre intercambiable está firmemente adsorbido especialmente por la materia orgánica del suelo. El ión Cu^{2+} en una gran proporción es fijado por el humus, en una forma más estable que por la forma ordinaria intercambiable adsorbida. Se ha demostrado experimentalmente que el Cu es adsorbido más firmemente por los suelos orgánicos, que por los suelos minerales. El Cu no intercambiable se considera unido parcialmente a la materia orgánica, como complejos estables o como constituyentes de residuos de plantas y parcialmente en minerales primarios y secundarios. El Cu orgánico se hace disponible solamente después de la mineralización. La distribución de Cu entre

los componentes inorgánicos y orgánicos del suelo varía notablemente con el contenido de humus.

El compuesto más importante de cobre en las rocas primarias es la calcopirita y minerales de las rocas ígneas básicas. En suelos inundados, el cobre se presenta también como CuS o posiblemente como Cu_2S , que al exponerse al aire se oxidan a sulfato. En los suelos se han hallado así mismo, carbonatos y fosfatos de cobre.

Las deficiencias de cobre se detectan en suelos orgánicos ácidos, en suelos derivados de rocas ígneas muy ácidas y en suelos lixiviados de textura gruesa. Cantidades considerables de Cu , son añadidas al suelo asperjado como plaguicidas. En algunas regiones de Centroamérica se ha reportado una concentración de 1000 ppm de cobre en los 10 cm superiores del suelo. En la región vitícola de Mosell en Alemania, donde se utilizó el Cu por más de 30 años, se reportó un contenido de Cu en suelos de 925 ppm; mientras que los suelos no asperjados mostraron solamente 50-80 ppm.

Características generales: El cobre es un microelemento constituyente de ciertas enzimas, incluyendo la oxidasa del ácido ascórbico (Vitamina C), tirosinasa, citocromo-oxidasa y la plastocianina que es una proteína de color azul, que se encuentra en los cloroplastos.

El cobre enlazado participa en enzimas de óxido-reducción, con la excepción de ciertas amino oxidasas y galactosa oxidasas, este elemento participa en reacciones de óxido-reducción.

Una gran parte de las enzimas con cobre reaccionan con H_2O_2 y lo reducen a H_2O (tirosinasa, laccasa, ácido ascórbico oxidasa, mono y diamino oxidasa, D-galactosa oxidasa, citocromo oxidasa). La enzima superóxido-dismutasa, que en las plantas es una enzima que requiere Cu y Zn , reacciona con iones de superóxido en lugar de H_2O_2 .

La principal proteína red-ox sin funciones de oxidasa es la plastocianina, que suministra equivalentes de reducción al fotosistema I, siendo así el elemento terminal en la cadena transportadora de electrones del cloroplasto.

Resumiendo podemos decir que el cobre provee a la planta con un metal, que en su estado reducido Cu^+ se enlaza y reduce el H_2O_2 . En su forma oxidada (Cu^{2+}), el metal es realmente reducido. En los complejos formados con proteínas, tiene un alto potencial de oxido-reducción. El Cu forma parte de la fenol oxidasa, que cataliza la oxidación de compuestos fenólicos a cetonas durante la formación de la lignina y en la curtiembre.

Síntomas de deficiencia: La disponibilidad depende de las cantidades relativas de Cu intercambiable en las formas minerales y complejos orgánicos.

La primera deficiencia de Cu se reportó en el estado de Florida (USA), en 1875, dando origen a síntomas que se conocen como exantema o muerte regresiva de las cítricas. Un exceso de cobre puede inducir una deficiencia de hierro, como ha sido observado en **Citrus**.

Aunque los síntomas pueden variar mucho en las distintas especies, esta deficiencia suele provocar una necrosis del ápice de las hojas jóvenes que progresa a lo largo del margen de la hoja, pudiendo quedar los bordes enrollados. Las hojas pueden presentar clorosis, muriendo a menudo los brotes jóvenes.



Las plantas presentan muy raramente deficiencias de cobre, ya que este elemento se encuentra disponible en casi todos los suelos, las deficiencias de cobre son conocidas más que todo a partir de estudios en cultivos hidropónicos. En la deficiencia de Cu las hojas jóvenes se colorean de verde oscuro, se doblan y adquieren malas formas, algunas veces muestran manchas necróticas.



Fotografías 7. Aspecto de las hojas de plantas de *G. crinita* cultivadas en solución sin Cu.

Durante los dos primeros meses de iniciado los tratamientos, las plantas tuvieron un crecimiento superior a la solución completa sin manifestar síntomas de deficiencia, luego faltando 30 días para culminar el experimento cuando se utilizaron nuevas sales obtenidas de laboratorio las plantas empezaron a mostrar síntomas de deficiencia de Cu, por la parte apical con severa clorosis generalizada de las hojas más jóvenes y brotes, con nervaduras principales de color verde, mientras que las hojas más viejas eran de color verde oscuro, lo cual indica que este elemento no se transloca en la planta de los órganos viejos hacia los nuevos cuando falta en el medio de cultivo tal como lo indica Salisbury (2000), Luego de la clorosis indicada empezaron a aparecer necrosis en forma de puntaduras en todas las láminas foliares cloróticas que van aumentando de tamaño y las hojas deformando ligeramente, así mismo hubo casos de necrosis en los bordes con deformaciones de las hojas afectada y crecimiento trunco. En cuanto a las raíces igual que en la parte aérea estuvieron al inicio más pobladas que en el tratamiento completo de Hoagland y Arnon, sin embargo cuando se cambiaron las soluciones nutritivas en el último mes empezaron a aparecer afixias de raíces secundarias y raíces absoventes con tendencias al desprendimiento de éstas (Fotos 6, 7 y 8).

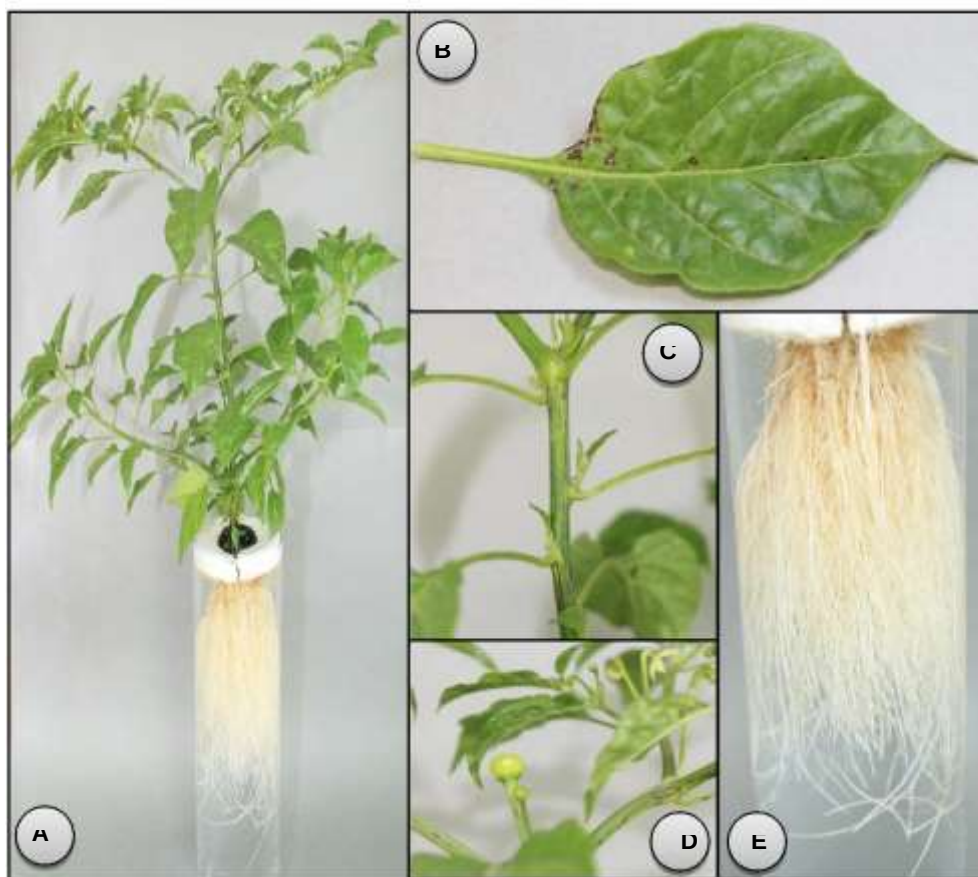


Foto 12. A) Planta completa, B) Hoja, C) Tallo, D) Flores y frutos E) Raíces; del tratamiento con deficiencia de Cobre en ají charapita “*Capsicum frutescens* L.”.

En la **foto 12**, se presentan los síntomas de deficiencia obtenidos por la carencia del elemento Cobre. A diferencia de los demás tratamientos carentes de un micronutriente en estudio, la carencia de este elemento no afectó el crecimiento vegetativo de las plantas (Foto 12C), con respecto al testigo. Los síntomas aparecieron a los 45 días (d/t.), en las hojas viejas las que se mostraron recurvadas en los márgenes y abultadas en las zonas intervenales de color verde oscuro intenso y brillante, que posteriormente se formaron pequeñas manchas o puntos necróticos (Foto 12B). Los tallos y ramas presentaron un desarrollo relativamente normal (Foto 12C), con respecto al testigo, asimismo observando la presencia de botones florales a partir de los 38 días (d/t.), presencia de flores a partir de los 48 días (d/t.), con formación de frutos (Foto 12D), a partir de los 50 días (d/t.), a comparación

con el testigo, que posteriormente los tallos mostraron pequeñas manchas o puntos necróticos (Foto 12C y 12D). La emisión de raíces fue abundante, de color blanco, delgadas y alargadas a comparación al testigo.

Estos síntomas observados en ají charapita se corroboran con Navarro y Navarro (2003), que indican que en la deficiencia de cobre las hojas jóvenes se colorean de verde oscuro, se doblan y adquieren malas formas, algunas veces muestran manchas necróticas.

Al respecto (Agarwala et al., 1980), mencionan que aunque los síntomas de cobre varían con los cultivos las alteraciones en general se observan en primer lugar, en los órganos más jóvenes; además que su carencia afecta al crecimiento reproductivo mucho más que al crecimiento vegetativo.

En la **foto 13**, se presenta el aspecto general en cuanto a tamaño y apariencia de la planta deficiente de Cobre (SN–Cu) y de la planta testigo (SNC), hasta los 60 días de establecimiento del cultivo de ají charapita en solución nutritiva.

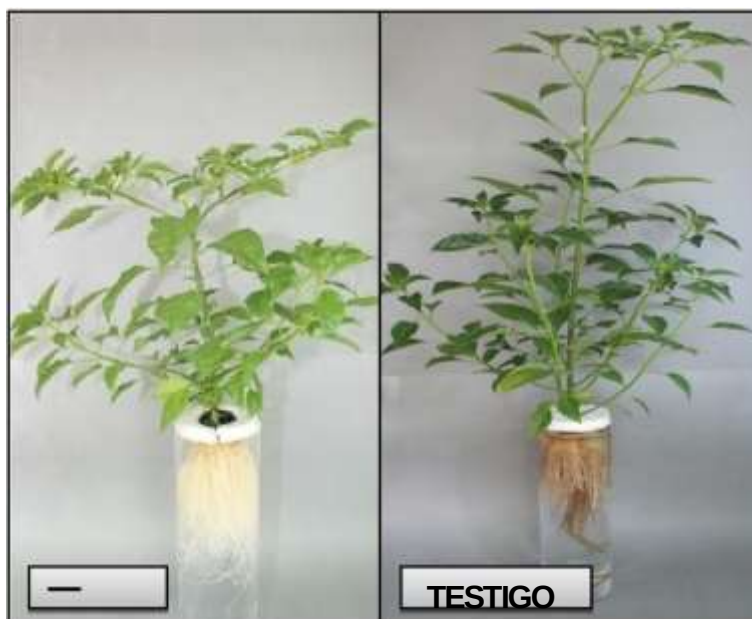


Foto 13. Comparación entre una planta deficiente de Cobre y una planta testigo.

En ***Pinus radiata*** se caracteriza por detención del crecimiento, el tallo se dobla por una lignificación deficiente, que resulta de un nivel insuficiente de Cu para el funcionamiento de la enzima lignina-oxidasa, necesaria para la síntesis de lignina.

Proporciones aproximadas en las plantas: Las proporciones aproximadas de Cu en las plantas varían entre 2 a 75 ppm en base al peso seco. Las plantas deficientes presentan cantidades foliares menores de 4 ppm en base al peso seco. El rango de Cu para un crecimiento normal cae usualmente entre 5 a 20 ppm, mientras que por encima de 20 ppm se pueden observar síntomas de toxicidad.

El cobre es absorbido en forma de ion cúprico (Cu^{2+}) y puede ser absorbido como una sal de un complejo orgánico como el EDTA. El cobre divalente es rápidamente reducido a Cu^+ , el cual es inestable. En este aspecto el cobre es similar al hierro. La mayoría de las funciones del cobre en la planta están basadas en su potencial para actuar en las reacciones redox.

El cobre está presente en tres diferentes formas en las proteínas: *proteínas azules* que no tienen actividad oxidativa y cuya función es de transferencia de un electrón (plastocianina); *proteínas no-azules* las cuales producen peroxidasas y oxidan monofenoles a difenoles; y *proteínas multicobre* que contienen al menos cuatro átomos de cobre por molécula y las cuales actúan como oxidasas (oxidasa del ácido ascórbico).

Más del 50% del cobre que se localiza en los cloroplastos está unido a la plastocianina, compuesto que es un componente del transporte de electrones del fotosistema II. Está presente en la citocromo oxidasa y estimula la formación de la vitamina A en las plantas.

Síntomas de deficiencia del Cobre.

En cereales, la deficiencia de cobre provoca una clorosis o amarillamiento y rizado de la lámina foliar, una limitada producción de espigas y un desarrollo deficiente del grano, además de un amacollamiento indeterminado. En cítricos, ocurre un marchitamiento de los brotes nuevos y el fruto muestra excrecencias de color castaño.



La muerte gradual de los ápices de las plantas seguido por un crecimiento en roseta, ha sido asociada con una deficiencia de cobre. En plantas de maíz deficientes en cobre, las hojas muestran un color verde pálido a amarillo y el ápice de las hojas se torna necrótico y muere. En un nivel bajo de deficiencia de cobre, las hojas jóvenes se secan en el margen cerca de la base de la hoja.

MANGANESO

Símbolo: Mn, elemento químico, blanco grisáceo, quebradizo, más duro que el hierro, metal de transición perteneciente al grupo VIIb de la tabla periódica, esencial para la fabricación de acero. Se oxida como el hierro, sin embargo no es magnético, no se encuentra libre en la naturaleza.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva del Italiano Manganese, forma viciada del Griego magnesia, del Francés manganese. El metal fue aislado por Gahn en 1774 y fue llamado manganese, elemento que se obtenía de la Magnesita alba.

Número atómico: 25

Peso atómico: 54,938

Punto de fusión: 1244°C

Punto de ebullición: 2097°C

Densidad: 7,20 a 20°C

Estado común de oxidación: +2, +3, +4, +6, +7

Estado natural: El manganeso en los suelos tiene valencias 2, 3 y 4. En la solución del suelo y en forma intercambiable se presenta principalmente como Mn^{2+} , los iones Mn^{3+} y Mn^{4+} forman óxidos prácticamente insoluble. La abundancia del manganeso total en suelos minerales varía entre 300 a 7000 ppm, aunque algunas veces se encuentran contenidos menores o mucho mayores. En muchos suelos la fracción principal del manganeso se encuentra bajo la forma no-intercambiable y difícilmente soluble.

El contenido de las diferentes fracciones de Mn en los suelos, es muy variable. Se encuentra en forma de distintos óxidos y óxidos hidratados, como parte de silicatos y carbonatos.

La parte importante del Mn en suelos se encuentra presente como óxidos insolubles, el más común parece ser la pirolusita como MnO_2 , tanto en la forma hidratada como activa, $MnO_2 \cdot nH_2O$ y en la forma cristalizada e inerte Mn_2O_3 . Existen evidencias de la presencia de la forma trivalente de óxido de Mn, braunita, Mn_2O_3 . Se considera presente en los suelos la hausmanita, un

óxido mangano mangánico. Suelos ligeramente meteorizados pueden contener también cantidades considerables de MnO_2 junto con MnCO_3 como constituyentes de minerales silicados, entre los que el silicato oscuro es el que contiene más manganeso. La biotita contiene hasta 1% de MnO , augita 0,4%, hornblenda 0,3% y la moscovita 0,1%. Así mismo la piedra caliza y la dolomita algunas veces tienen alto contenido de Mn.

Los principales factores del suelo que determinan la disponibilidad del Mn son el pH y las condiciones de óxido-reducción. Los valores de pH entre 6 y 6,5 parecen ser críticos. Valores bajos favorecen la reducción, mientras que valores altos favorecen la oxidación.

Las plantas pueden utilizar con seguridad el Mn^{2+} y es casi seguro que no pueden usar el Mn^{4+} , mientras que se desconoce su capacidad para absorber apreciables proporciones de Mn^{3+} , el que es muy inestable. Se cree que existe un equilibrio dinámico entre las formas de Mn, de modo que la forma Mn^{2+} es muy probable que se de en suelos alcalinos, la forma Mn^{3+} probablemente está favorecida por valores de pH del suelo próximos a la neutralidad y la forma divalente (Mn^{2+}) se encuentra en suelos ácidos. Se cree que los microorganismos son principalmente responsables de su oxidación entre pH 5 y 7,9, mientras que la oxidación no biológica es marcada solamente por encima de pH 8.

Características generales: Es un microelemento esencial para la síntesis de clorofila, su función principal está relacionada con la activación de enzimas como la arginasa y fosfotransferasas. Participa en el funcionamiento del fotosistema II de la fotosíntesis, responsable de la fotólisis del agua. El Mn puede actuar en el balance iónico como un contra-ión reaccionando con grupos aniónicos.

El Mn es absorbido por las raíces en la forma de Mn^{2+} que es la forma biológicamente activa, mediante un proceso que demanda energía, el que se retarda en presencia de los iones divalentes Ca^{2+} y Mg^{2+} . Se mueve en la planta principalmente como ión libre en el floema.

Se ha encontrado que un gran número de enzimas aisladas del metabolismo intermedio, son activadas por Mn^{2+} . Las proteínas lectinas, como la concanavalina A enlaza Mn^{2+} y Ca^{2+} a través de residuos carboxilados e imidazoles, atribuyéndose las necesidades de estos cationes para el mantenimiento de la conformación protéica.

En la fotólisis del agua se requiere Mn fuertemente enlazado en el lado oxidante del fotosistema II. La liberación de O_2 por la fotosíntesis depende del enlace en cuatro Mn por cada centro de reacción de la P680, con una fuerte indicación de que el complejo Mn-proteína, participa directamente en el

almacenamiento de los cuatro equivalentes de oxidación, requeridos para la transferencia de 4 electrones de dos moléculas de H_2O , para producir O_2 . No ha sido establecido aún el papel que juega el Mn en las reacciones de óxido-reducción.

Síntomas de deficiencia: Las deficiencias de Mn son más comunes en suelos orgánicos que en inorgánicos. El Mn se encuentra generalmente presente en las mismas formas en los tipos de suelos, sin embargo la proporción de Mn encontrada formando complejos con la materia orgánica es mucho más alta en suelos orgánicos.

Las deficiencias de Mn no son muy comunes, a pesar de que ciertos desórdenes como la "mancha gris" de la avena (**Avena sativa**) es conocida desde hace muchos años y es controlada tratando las plantas con sales de manganeso. Los síntomas de deficiencia de Mn pueden ocurrir tanto en hojas jóvenes como en hojas viejas y comprenden una amplia variedad de formas cloróticas y manchas necróticas. Los síntomas iniciales son frecuentemente una clorosis entre las venas, tanto en hojas jóvenes como viejas, dependiendo de las especies, seguida de lesiones necróticas. En estudios ultraestructurales realizados en cloroplastos de espinaca, se ha observado que la ausencia de Mn causa una desorganización del sistema de membranas internas de estos organelos, con muy poco efecto sobre la estructura del núcleo y las mitocondrias. El Mn es relativamente inmóvil, pero tóxico en altas concentraciones. Las concentraciones de Mn en las hojas se aproxima a los niveles tóxicos, sin embargo se observan deficiencias de Mn en árboles plantados en suelos calcáreos.



Cuando hay una deficiencia de manganeso, se forma una necrosis en forma de rayas en las hojas más viejas y jóvenes. En las mazorcas se aprecia una fecundación que va de deficiente a irregular, pudiendo ocasionar frecuentemente que las puntas de las mazorcas queden vacías, así como granos de diferente tamaño y mazorcas torcidas. EPSO Microtop® contiene 1 % de Mn, 0,9% de B, 15 % de MgO y 31 % de SO_3 , por lo que su combinación de nutrientes es óptimamente apropiada para el equilibrio y la prevención de síntomas de carencia en el maíz. Si se necesita una mayor cantidad de manganeso, se recomienda un abonado con EPSO Microtop® que contiene 4 % de manganeso y adicionalmente 1 % de cinc.



Los síntomas de deficiencia en manganeso varían mucho de unas especies a otras, aunque el más frecuente suele ser una clorosis intervenal, pudiendo también aparecer manchas necróticas en las hojas. Generalmente, los síntomas suelen aparecer primero en las hojas más jóvenes, aunque también, se dan casos de aparición anterior en las hojas viejas. En las semillas de leguminosas puede presentarse necrosis en los cotiledones o en el embrión.



Fotografías 13. Aspecto de raíces de plantas de *G. crinita* cultivadas en solución nutritiva sin Mn.

Clorosis que empieza por las hojas medias que luego se extiende en toda la planta. Necrosis que empieza por los bordes en las hojas medias luego de una clorosis cada vez más intensa y generalizada internerval, nervaduras principales y secundarias verdes con franjas verdes, tallos delgados y cortos, raíces poco pobladas y largas pudiendo desprenderse y quedar truncas (Fotografías 11, 12, 13).

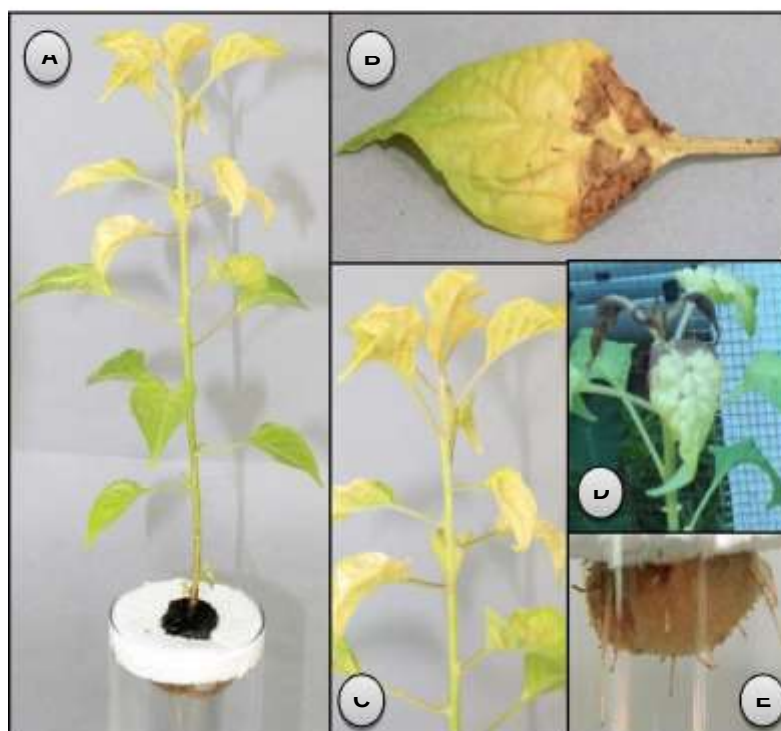


Foto 6. A) Planta completa, B) Hoja, C) Tallo, D) Ápice, E) Raíces; del tratamiento con deficiencia de Manganeso en ají charapita "*Capsicum frutescens* L.".

En la **foto 6**, se presentan los síntomas de deficiencia obtenidos por la carencia del elemento Manganeso. Debido a la carencia de este elemento las plantas presentaron crecimiento lento (Foto 6A). Los síntomas aparecieron a los 35 días (d/t.), con una clorosis generaliza en los brotes apicales prolongándose hacia la parte media de la planta (Foto 6A), las hojas jóvenes se mostraron encurvadas en los márgenes hacia abajo con áreas cloróticas internervales que se mueve hacia el borde y ápice de la lámina incluyendo las nervaduras (Foto 6B), en los bordes del peciolo se presentó una coloración de aspecto morado (Foto 6C). A medida que la deficiencia continua a partir de los 45 días (d/t.), se observaron en el ápice pequeñas manchas marrones o café que involucran a las hojas nuevas los cuales se inician en el peciolo, que luego se expanden ocasionando el secamiento y la eventual muerte de estas (Foto 6D), a los 50 días (d/t.). Los tallos se mostraron verde pálido, delgados y débiles (Foto 6C), no presentaron ramas, ni flores y por consiguiente frutos.

La emisión de raíces fue muy escasas de color crema, muy pequeñas y necrosadas en el ápice (Foto 6E), al igual que en el T2 (SN-B), a comparación con el testigo.

Los síntomas observados en ají charapita son similares con los observados por Hernández y Pacheco (1986), en Cardomo (*Elettaria cardamomum* Maton), al indicar que los síntomas de manganeso se localiza en las hojas nuevas de la planta. Se observan áreas cloróticas intervenales, posteriormente adquiere un tono café y en estado avanzado de deficiencia dichas áreas se llegan a secar aunque la venación principal permanece verde.

Al respecto Fernández y Camacho (2008), en tomate observaron que la deficiencia de manganeso se refleja en una clorosis internerval con la nervadura prominentemente verdes en las hojas maduras medias, permaneciendo el resto de la planta con hojas verde oscuro. A veces se observan pequeñas abolladuras en estas hojas. Si la deficiencia es severa la planta detiene su crecimiento.

En la **foto 7**, se presenta el aspecto general en cuanto a tamaño y apariencia de la planta deficiente de Manganeso (SN-Mn) y de la planta testigo (SNC), hasta los 60 días de establecimiento del cultivo de ají charapita en solución nutritiva

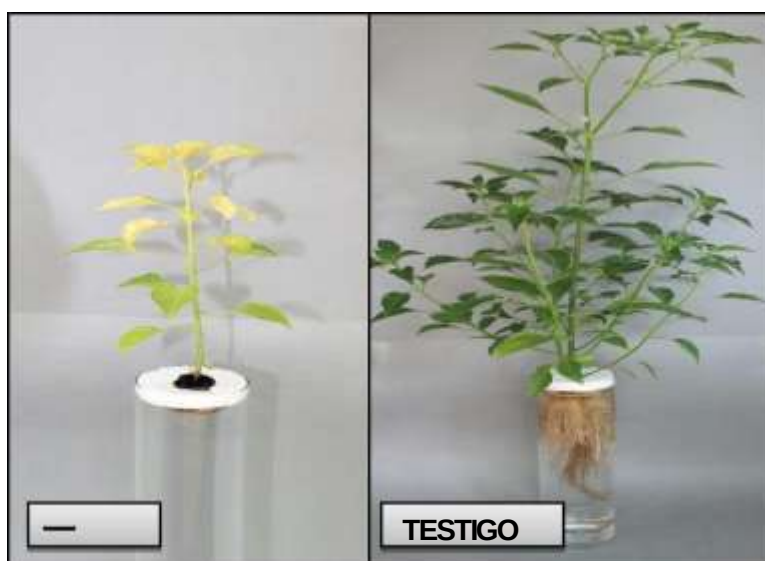


Foto 7. Comparación entre planta deficiente de manganeso y planta testigo.

La deficiencia de Mn en **Pinus caribaea** se caracteriza porque las acículas terminales y en fascículo presentan una clorosis ligera. Las acículas situadas cerca del meristema apical muestran un mosaico necrótico progresivo, con una coloración que varía de crema a gris. En un estado avanzado de deficiencia se desecan las acículas de la mitad de la planta hacia arriba, esta necrosis puede comenzar de la parte media de la acícula, avanzando luego en ambas direcciones. Las plantas deficientes en Mn se marchitan y tienen aspecto raquíptico.



Proporciones aproximadas en las plantas: Varían entre 5 y 1500 ppm en base al peso seco. En muchas plantas, las hojas con síntomas de deficiencia poseen niveles de Mn menores de 20 ppm en base al peso seco. Los niveles aceptables y no excesivos de Mn, caen en el rango de 20 -500 ppm, mientras que cantidades superiores a 700 ppm se consideran tóxicas. El contenido de Mn en acículas de **Pinus caribaea** que crecían en soluciones nutritivas completas fue de 144,6 ppm, mientras que las plantas que mostraban los síntomas de deficiencia del elemento tenían una concentración de 22,9 ppm.

La función del manganeso más ampliamente estudiada en las plantas superiores es su papel en la evolución del oxígeno fotosintético. En las reacciones del fotosistema II, la molécula de agua es descompuesta por una deshidrogenasa que es activada por un ion manganeso. Como producto de esta reacción, un O₂ es liberado y los dos átomos de hidrógeno son enviados a la plastoquinona para iniciar el transporte de electrones de fotosíntesis.

Al igual que el fierro y otros metales de grupo de los pesados, el manganeso tiene funciones de activación de numerosas enzimas relacionadas con el

metabolismo de los carbohidratos, reacciones de fosforilación y ciclo del ácido tricarboxílico, y conjuntamente con otros metales en la activación de enzimas tales como arginasa, cisteína de sulfhidrasa, desóxido de nucleasa, fosfatasa y glutamil transferasa. El manganeso es requerido solo en pequeñas cantidades y cuando se aplica en grandes cantidades es fuertemente tóxico.

Síntomas de deficiencia de Manganeso.

El manganeso, al igual que el hierro y otros metales, es relativamente inmóvil por lo que los síntomas de su deficiencia se muestran primero en las hojas jóvenes. Estas hojas presentan una clorosis caracterizada por la aparición de manchas amarillentas y necróticas entre las nervaduras. Aparecen zonas grisáceas cerca de la base de las hojas más tiernas y se vuelven de amarillentas a amarillo naranja.



También provoca lo que se conoce como manchas resinosas de los cítricos, el lunar gris en la avena, la mancha del pantano en el chícharo y la enfermedad de las rayas en caña de azúcar. A nivel celular, ocurre una disminución en el número de cloroplastos o bien una desorganización de los mismos con una baja concentración de clorofila.

U

Símbolo: Ni, elemento químico, metal ferromagnético de transición perteneciente al grupo VIII de la tabla periódica, resistente a la oxidación y corrosión, de color blanco plateado, más fuerte y duro que el hierro, se utiliza para acuñar monedas.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva del Alemán "kupfernickel", fue aislado por el químico Suizo, Baron Axel Fredrick Cronstedt, en 1751, a partir de un mineral que contenía arseniuro de níquel.

Número atómico: 28

Peso atómico: 58, 71

Punto de fusión: 14530 C.

Punto de ebullición: 27320

C. Densidad: 8,90 (a 200 C).

Estado de oxidación: -1, 0, +1, +2, +3, +4. Aunque el níquel de valencia +2 es el más común.

Estado natural: Es un componente común de las rocas ígneas. Las fuentes más importantes son la pentlandita, encontrada con la pirrotita y calcopirita, así como con lateritas que contienen níquel como la garnierita. El níquel constituye cerca de 0,016 por ciento de la corteza terrestre. **Las plantas lo absorben en forma de catión divalente** que es muy escaso en la solución del suelo , aunque puede ser más abundante en los suelos de serpentinas. En este caso resulta tóxico para la mayor parte de las especies, aunque existen algunas que lo toleran bien y pueden utilizarse como plantas indicadoras de yacimientos. En ellas, el níquel se inactiva formando complejos con ácidos orgánicos.

Características generales: El níquel forma parte de la metaloenzima ureasa (que contiene dos átomos por molécula) , la cual descompone la urea en amoníaco y dióxido de carbono. Resulta entonces esencial para las plantas que se abonan con urea o con sus derivados(por ejemplo, en la fertilización foliar), jugando entonces un papel importante en el metabolismo nitrogenado. Algunos investigadores han reportado respuestas en plantas a la adición de Ni, cuando se ha utilizado urea como fuente de nitrógeno. Se ha estimulado el crecimiento al añadir Ni en arroz, soya y cultivo de tejidos de tabaco, y en **Lemna paucicostata** cuando se ha utilizado la urea como fuente única de nitrógeno. En la soya el Ni aumenta la actividad de la ureasa foliar, impidiendo la acumulación de niveles tóxicos de urea.

El Ni participa en el metabolismo normal del nitrógeno de las leguminosas.

Síntomas de deficiencia: Las leguminosas deficientes en Ni, acumulan urea que es el agente causal de la necrosis de los folíolos. La urea es producida durante el metabolismo nitrogenado normal de las plantas superiores y el Ni evita la acumulación de concentraciones tóxicas de urea. Las hojas de las plantas que contienen niveles tóxicos de urea y muestran síntomas de necrosis, tienen niveles de Ni que oscilan entre 0,01 y 0,15 mg por gramo de peso seco. Plantas de tomate (**Lycopersicon esculentum L.**) deficientes en Ni desarrollan clorosis en hojas jóvenes y por último necrosis del meristema. Las deficiencias de Ni tienen efectos en el crecimiento, metabolismo, envejecimiento y absorción de hierro por las plantas. El Ni parece tener un papel en la resistencia de las plantas a enfermedades.

SODIO

Símbolo: Na, elemento químico perteneciente al grupo Ia de la tabla periódica (grupo de los metales alcalinos). Es un metal blando, blanco plateado, abundante en la naturaleza en compuestos como la sal común.

Etimología del nombre y del símbolo: Se deriva del Latín natrium, que significa sodio. En Alemania se llamaba natron y kali a los correspondientes hidróxidos de sodio y potasio, en Inglés se denomina soda.

Número atómico: 11

Peso atómico: 22,98

Punto de fusión : 97,81

Punto de ebullición: 892 °C

Densidad: 0,971(20 °C)

Estado común de oxidación: +1

Estado natural: Se encuentra en la naturaleza como sal marina, cloruro de sodio (NaCl), como el mineral halita y en el agua de mar en la que el sodio forma el 31% de los constituyentes disueltos. Sir Humphry Davy descubrió el sodio en su forma elemental en 1807, mediante electrólisis del hidróxido de sodio fundido. El sodio es el sexto elemento en abundancia en la tierra, constituye el 2,8% de la corteza terrestre.

Características generales: El sodio se encuentra como catión monovalente, se adsorbe a los coloides de arcilla y a niveles elevados, es capaz de desplazar al calcio y al potasio, deteriorando la estructura del suelo. Las plantas se dividen en natrofilicas y natrofóbicas de acuerdo a su tolerancia a este elemento. Es un activador de enzimas ATP-ases en animales, y probablemente en plantas. Puede reemplazar al potasio, en la activación de la ADP-glucosapirófosforilasa que interviene en la síntesis del almidón. Existen pruebas de que es esencial en Atiplax. El ion sodio es requerido por la mayoría de las especies que utilizan la vía metabólica y con metabolismo ácido de Crasuláceas (CAM). En esas plantas el sodio es vital para la regeneración del ácido fosfoenolpirúvico, sustrato de la primera carboxilación de las plantas y CAM. Muchas especies se benefician también de concentraciones de sodio bajas. El sodio estimula el crecimiento a través del alargamiento celular y puede sustituir al potasio como un soluto osmóticamente activo.

Síntomas de deficiencia. La deficiencia de sodio causa en esas plantas clorosis y necrosis, e inclusive impide la formación de flores.

Aunque el sodio es un elemento no esencial, son muchas las plantas que lo utilizan e inclusive, tienen un mejor desarrollo en presencia de sodio utilizable que en su ausencia. En casos como este, el sodio al parecer cumple alguna de las funciones que normalmente realiza el potasio. Las especies se pueden dividir en cuatro grupos de acuerdo a sus necesidades relativas de sodio en comparación con las de potasio: a) plantas que necesitan sodio para su desarrollo óptimo, b) plantas que se benefician si existe sodio utilizable, c) plantas que toleran la substitución en parte de sodio por potasio y d) plantas que no utilizan el sodio aún cuando exista deficiencia de potasio.

El mecanismo por medio del cual el sodio funciona como un micronutriente en especies C4 como *Atriplex vesicaria*, *Amaranthus tricolor* o *Kochia childsii* no esta muy claro ya que ni las enzimas ni el mecanismo completo de la vía C4 se ven afectadas por el sodio.

COBALTO

El requerimiento de cobalto para la fijación del nitrógeno en las leguminosas y no leguminosas fue establecido desde hace casi 40 años por Ahmed y Evans. Se conoce que *Rhizobium* y otros microorganismos fijadores de nitrógeno tienen un absoluto requerimiento de cobalto.

El cobalto es el metal componente de la coenzima cobalamina (vitamina B12 y sus derivados), la cual está quelatada a cuatro átomos de nitrógeno en el centro de una estructura porfirínica, similar a la del fierro en la hemina. Se han identificado tres sistemas enzimáticos dependientes de cobalamina en *Rhizobium* en los cuales el cobalto induce cambios en sus actividades enzimáticas y son responsables de la relación entre el cobalto, la nodulación y fijación de nitrógeno en las leguminosas: a) metionina sintetasa. Bajo condiciones de deficiencia de cobalto, se presenta una irregular síntesis de proteínas. b) ribonucleótido sintetasa. Esta enzima está involucrada en la reducción de ribonucleótidos a desoxirribonucleótidos y de esta manera, en la síntesis del DNA. c) metilmalonil-coenzima A mutasa. Esta enzima está involucrada en la síntesis de porfirinas de fierro y en la síntesis de la hemoglobina. Bajo condiciones de deficiencia de cobalto, la síntesis de hemoglobina se reduce, lo cual afecta de mayor manera la fijación de nitrógeno.

NIQUEL

El níquel es rápidamente absorbido por la mayoría de las especies cultivadas. Como un catión divalente (Ni^{2+}) compete con otros cationes, incluyendo Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} y Zn^{2+} , sin embargo, altos niveles de níquel en el suelo y en las plantas pueden inducir deficiencias de zinc o fierro y se manifiestan los síntomas característicos de clorosis. Existe evidencia que demuestra que el níquel es el metal de que está compuesta la ureasa, la enzima que cataliza la reacción:



El níquel no es requerido para la síntesis de la enzima, pero es el componente metal y por lo tanto es esencial para la estructura y funcionamiento de la enzima. El níquel podría ser considerado como esencial para ciertos tipos de nutrición nitrogenada y para algunas familias de plantas.

SELENIO

El selenio es absorbido por las plantas como selenato (SeO_4^{2-}) o como selenita (SeO_3^{2-}). El selenato y el sulfato (SO_4^{2-}) compiten por los mismos sitios de unión en la membrana celular de las células de la raíz. La absorción y el transporte así como la asimilación del selenato sigue la misma vía que el sulfato y en ocasiones se forman compuestos análogos de selenio de cisteína y metionina llamados selenocisteína y selenometionina.

La ruta de asimilación del selenio es la misma para plantas acumuladoras y no acumuladoras de selenio, y los selenoaminoácidos son incorporados en proteínas las cuales son no funcionales o son mucho menos capaces de funcionar como enzimas comparadas con las correspondientes proteínas que contienen azufre.

ALUMINIO

Muchas plantas cultivadas son sensibles a altas concentraciones de aluminio y la toxicidad del aluminio en suelos ácidos es un serio problema que ha requerido investigación de fitomejoramiento para lograr plantas con tolerancia a concentraciones altas de aluminio.

Existen reportes de investigación que muestran que a bajas concentraciones de este elemento en el suelo o en las soluciones nutritivas puede estimular el crecimiento. Estas concentraciones varían de 0.2 a 0.5 mg/litro en remolacha azucarera, maíz y algunas leguminosas tropicales. En plantas de te, la cual es una de las especies cultivadas más tolerantes al aluminio, la estimulación del crecimiento fue observada a concentraciones tan altas como 27 mg/litro.

También se ha reportado que el aluminio puede servir como un fungicida en ciertos casos de enraizamiento de raíces. Los efectos del aluminio mencionados pueden ser la excepción, ya que lo normal es que el aluminio cause efectos negativos en el crecimiento de las plantas que crecen en suelos de bajo pH.

Factores que afectan la absorción de iones minerales.

Existen factores internos y externos de la planta que afectan la absorción de los iones minerales.

TOXICIDAD POR METALES

La contaminación por metales pesados ocurre en zonas industriales, debido a la emisión de polvos metálicos y a la presencia de Cd, Hg y otras sales metálicas en los cursos de agua, de plomo a los lados de las carreteras, y de Cu, Zn y As en sitios donde se utilizan fungicidas.

Los suelos cubiertos por rocas portadoras de minerales o escorias que contienen metales pesados, especialmente Zn, Pb, Ni, Co, Cr y Cu; así como Mn, Mg, Cd y Se, en cantidades tóxicas para algunas plantas. Se ha encontrado que muchas plantas son sensibles a la toxicidad por metales pesados, mientras que otras desarrollan ciertos mecanismos bioquímicos que evaden su acción tóxica; como son la deposición de metales pesados sobre la pared celular, enlace a grupos -SH en el límite del citoplasma, o mediante su aislamiento en compartimientos, formando complejos con ácidos orgánicos, fenoles y otros compuestos orgánicos en la vacuola. Debido a que la toxicidad implica inactivación de enzimas vitales, los mecanismos de evasión mencionados, ofrecen una protección efectiva contra daños bioquímicos. La habilidad que tienen ciertas plantas de desarrollar resistencia contra daños ocasionados por metales pesados, es un carácter fijado genéticamente, pero modificable por adaptación. Los quimo-ecotipos muestran isoenzimas particulares, que pueden resistir altas concentraciones de metales pesados sin inactivarse. En ciertas plantas se ha hallado una correlación directa entre el grado de exposición a un metal pesado, y su tolerancia. Algunas de las plantas tolerantes a metales pesados (metalófitas), se pueden utilizar inclusive como indicadores de depósitos minerales cerca de la superficie y son también apropiadas para ser plantadas en áreas industriales y sujetas a minería.

En este trabajo se hará particular referencia a los efectos tóxicos ocasionados por los metales pesados aluminio, manganeso y hierro, con especial énfasis a sus efectos fisiológicos.

TOXICIDAD POR ALUMINIO

La toxicidad por aluminio es un factor importante que limita el crecimiento de las plantas en suelos fuertemente ácidos por debajo de pH 5.0, pero puede ocurrir a un pH un poco más alto de 5.5. Este problema es muy serio en subsuelos extremadamente ácidos que son difíciles de encalar, intensificándose por fuertes aplicaciones de fertilizantes nitrogenados formadores de ácidos. La toxicidad por aluminio reduce la profundidad de las raíces, aumenta la susceptibilidad a la sequía y decrece la utilización de los nutrientes del subsuelo. El aluminio afecta el alargamiento de las raíces reduciendo la actividad mitótica. Las raíces dañadas por Al son cortas y quebradizas, los ápices radicales y raíces laterales se engruesan y adquieren una coloración marrón. Las raíces afectadas por Al son ineficientes en la absorción de agua y de nutrientes. En general, se ha encontrado que las plántulas jóvenes son más susceptibles al Al que las plantas viejas.

Los síntomas de las deficiencias de aluminio no se identifican fácilmente, ya que pueden confundirse con las deficiencias de P (enanismo, hojas pequeñas verde oscuro, maduración tardía; enrojecimiento del tallo, hojas y nervaduras, amarillamiento y muerte de los ápices foliares). En otras plantas la toxicidad por

Al aparece como una deficiencia de Ca inducida o problemas de reducción de transporte de Ca (ocurre encrespamiento o enrollamiento de las hojas jóvenes y colapso de los ejes de crecimiento o pecíolos).

La toxicidad por aluminio se ha sugerido que comienza en los sitios de síntesis de polisacáridos. Los iones de Al se unen muy específicamente al mucilago por intercambio de absorción sobre los ácidos poliurónicos, formando complejos con las sustancias pécticas y por la formación de formas polihidroxílicas, aumentando el número de átomos de aluminio por cargas positivas. El aluminio se adsorbe sobre los sitios que se unen a calcio en la superficie celular.

Se ha reportado también que el Al entra a la planta moviéndose dentro de las células meristemáticas vía cortex, pasando la barrera endodérmica. El catión polivalente Al se mueve por el apoplasto de las células corticales, pero puede entrar también a la estela a través del plasmalemma. Estudios ultraestructurales han demostrado que la máxima acumulación se produce en las células epidérmicas y corticales.

El aluminio interfiere con la absorción, transporte y uso de varios elementos esenciales incluyendo Cu, Zn, Ca, Mg, Mn, K, P y Fe. Cuando el pH está por debajo de 5,5 un antagonismo entre Ca y Al es probablemente el factor más importante que afecta la absorción de Ca por las plantas. Muchas especies vegetales y variedades varían ampliamente en su tolerancia a un exceso de Al en el medio de crecimiento. En varias especies, esas diferencias son controladas genéticamente. Las especies tolerantes al Al deben ser capaces de prevenir la absorción de un exceso de Al o detoxificar el Al después de haber sido absorbido. El aluminio causa también daños morfológicos a órganos vegetales. Afecta la fotosíntesis disminuyendo la concentración de clorofila, reduciendo el flujo de electrones. Retarda la actividad respiratoria y la síntesis proteica, se une al DNA y a núcleos celulares. Cuando se acumula en las raíces, inicialmente inhibe la actividad mitótica, posiblemente afectando la función integrada de control del meristema de la raíz.

La toxicidad del aluminio en suelos ácidos es de especial importancia, debido a la destrucción de componentes del ecosistema forestal. Se reduce el rendimiento de biomasa, el crecimiento de los árboles y la actividad de la microflora que degrada la hojarasca del suelo, convirtiéndola en humus.

TOXICIDAD POR HIERRO

La toxicidad por Fe aparentemente está relacionada con desórdenes fisiológicos del arroz bajo condiciones de inundación. Estas incluyen bronceado de las hojas. Un exceso de hierro bajo la forma ferrosa, originó el moteado de las hojas en una plantación de caña de azúcar en Hawaii. Se ha asociado el bronceado del arroz con una alta concentración de productos reducidos, particularmente, en la solución del suelo. Esos desórdenes

fueron eliminados drenando, disminuyendo la inmersión de las plantas o la adición de retardantes de la reducción tales como FeSO_4 . La adición de FeSO_4 al 0,4% al suelo corrigió un desorden fisiológico del arroz y mejoró el crecimiento del arroz en tres suelos ácidos de pH 3,6 a 5,8.

A niveles de pH por debajo de 6.0 un suelo reducido pueden contener 5000 ppm de FeS en la solución del suelo, si la fase sólida importante está formada por FeS pero si la fase sólida principal está constituida por FeS , la concentración de FeS depende del pH y los niveles de H_2S .

Las especies vegetales y los genotipos dentro de las especies difieren en tolerancia a la toxicidad por Fe. Por ejemplo se ha hallado que **Lupinus alba** mostró tres veces más resistencia a excesos de Fe y Al que **Phaseolus vulgaris**. El cambar y el arroz son más tolerantes a excesos de Al y Fe que la caña de azúcar.

Como es de esperar, la tolerancia a la toxicidad por Fe parece coincidir con la tolerancia de las plantas a los suelos inundados. Se ha sugerido que las plantas amantes de los suelos húmedos disminuyen la toxicidad de las sustancias reducidas tales como FeS mediante su oxidación en la zona radical.

TOXICIDAD POR MANGANESO

La toxicidad por manganeso es un problema en algunos suelos fuertemente ácidos y con desechos de minería, con pH por debajo de 5,5, cuyos materiales parentales tengan un alto contenido de manganeso, aunque también puede ocurrir a altos pH cuando en el suelo predominan condiciones reductoras creadas por inundaciones, compactación o acumulación de materia orgánica. Se ha reportado toxicidad de Mn sobre zanahorias cultivadas en turba de Sphagnum a pH 7,8-8, 1. En ese caso la toxicidad de Mn se atribuyó al aumento de solubilidad de una fracción húmica de la turba que hacía el Mn más utilizable por las plantas. Los microorganismos del suelo parecen jugar un papel importante en los niveles de Mn reducidos en el suelo, que es absorbido por las plantas, especialmente a altos niveles de pH.

La toxicidad del Mn afecta más severamente la parte aérea que la radicular de las plantas. Los síntomas de la toxicidad por Mn incluyen clorosis marginal y necrosis de las hojas, arrugamiento foliar (algodón, soya) y manchas necróticas en las hojas (cebada, lechuga, soya). En casos severos de toxicidad por Mn, las raíces de las plantas se vuelven marrones, usualmente después que las partes superiores han sido severamente dañadas.

En suelos ácidos con altos niveles de Al y Mn, la reducción del crecimiento de la planta se puede atribuir erróneamente a la toxicidad por Mn, siendo la toxicidad por Al la más importante. Se sabe que un exceso de Mn promueve la

destrucción de la auxina (AIA) en algodón, a través de un aumento en la actividad de la oxidasa del ácido indolacético. Un exceso de Mn en el suelo afecta la fijación de nitrógeno por las leguminosas y retarda la aparición de nódulos. La tolerancia al manganeso por ciertas plantas, se ha atribuido a una reducida absorción, menor translocación del exceso de Mn a las partes superiores y una mayor tolerancia a altos niveles de Mn dentro de los tejidos de las plantas.

TOXICIDAD POR MERCURIO

El envenenamiento por mercurio se ha convertido en un problema debido a la contaminación a escala global. Los suelos agrícolas se contaminan con derivados orgánicos mercuriales, como consecuencia de la utilización de derivados mercuriales para prevenir la contaminación por hongos de las semillas. La disponibilidad del mercurio en el suelo es baja, sin embargo existe la tendencia de su acumulación en las raíces, indicando una probable barrera para la acumulación de mercurio. Su acumulación en las hojas parece depender de la absorción del Hg volatilizado del suelo. La acumulación de mercurio parece ser específica de algunas plantas. Se puede resumir que la acumulación de mercurio depende del grado de contaminación. Las plantas acuáticas son bioacumuladoras de mercurio. Parte del mercurio emitido a la atmósfera es absorbido por las hojas y retornado al suelo en las hojas caídas. Entre los posibles mecanismos de la toxicidad por mercurio están los cambios en la permeabilidad de la membrana celular, la reacción del catión Hg con grupos sulfhidrilos de enzimas, afinidad de la reacción con grupos fosfatos y grupos activos de ADP o ATP y el reemplazo primeramente de cationes esenciales.

El mercurio afecta las reacciones de luz y oscuridad de la fotosíntesis. La exposición al mercurio inorgánico reduce el índice mitótico en el meristema apical de la raíz y aumenta la frecuencia de aberraciones cromosómicas, que son directamente proporcional a la concentración de Hg.

El efecto fitotóxico de los compuestos mercuriales ha sido reportado en algunas plantas como el trigo, el arroz y otros cereales; sin embargo la intensidad del impacto depende de la concentración, la formulación, el modo de aplicación y el cultivar. En las semillas se ha observado una germinación anormal. El mercurio interfiere con los sistemas -SH en las células, causando la formación de puentes -S-Hg-S-, ya que los cationes de mercurio tienen una alta afinidad por los grupos sulfhidrilos. Debido a que casi todas las proteínas tienen grupos -SH o puentes disulfúros, los compuestos mercuriales pueden afectar las funciones en que participan proteínas sin protección.

Los compuestos mercuriales se pueden enlazar al ARN del virus del mosaico del tabaco, así como a poliribosomas sintéticos y al ARN soluble de levaduras.

El cultivo de diferentes plantas transgénicas con los genes *merA* y *merB* es promisorio. El gen *merA*, que codifica por una enzima reductasa del ión mercurio, reduce el ión mercurio a su forma elemental menos tóxica. El gen *merB* codifica por una proteína liasa organomercurial que separa el mercurio de compuestos de metil mercurio más tóxicos. Las que tienen el gen *merB* se ha demostrado que detoxifican los compuestos de metilmercurio tanto del suelo como del agua. La contaminación por mercurio en aguas servidas se puede atacar mediante el uso de plantas acumuladoras, como ***Eichhornia crassipes*** y ***Typha* sp.**, o cultivando esas plantas mediante una rutina de mutagénesis o por ingeniería genética.

TOXICIDAD POR OTROS METALES

Aunque cualquiera de los metales pesados puede ser tóxico a las plantas a ciertos niveles de solubilidad, solamente pocos han sido observados como causantes de fitotoxicidad en suelos. En los suelos, muchos metales pesados se encuentran como compuestos inorgánicos o están unidos a la materia orgánica, arcillas de óxidos hidratados de Fe, Mn y Al. Debido a la precipitación y absorción de muchos metales por los suelos, solamente las toxicidades por Zn, Cu y Ni han sido frecuentemente observadas. Las toxicidades por Pb, Co, Be, As y Cd ocurren solamente bajo condiciones especiales. La toxicidad por plomo y cadmio son de interés no solamente por la fitotoxicidad, sino porque al ser absorbido por las plantas se mueven en la cadena alimenticia. Los metales tóxicos se encuentran naturalmente en los suelos debido a que los materiales parentales son abundantes en estos elementos.

El aire contaminado puede actuar como una fuente de metales que luego se depositan en los suelos. La emisión de plomo por los automóviles está restringida generalmente a una distancia 30 metros, pero el Pb expulsado por los automóviles es depositado en sitios tan lejanos como el círculo polar ártico. Se ha demostrado que las fundiciones metálicas, acerías, fábricas operadas con carbón y los incineradores son fuentes de contaminación por cadmio, plomo, zinc y cobre.

El agua se puede contaminar con metales disueltos en suspensión ya sea por procesos naturales o por la actividad humana. El problema del cadmio (Cd), conocido como enfermedad "Itai-Itai" se detectó en un área en donde se escaparon desechos minerales a un río, que se usó luego para regar cultivos de arroz. En Florida se reportó toxicidad por Cu, en sitios en donde se aplicó exceso de fertilizantes y fungicidas a base de Cu a frutales de naranjas, bananas y uvas. Muchos compuestos químicos utilizados en agricultura como fertilizantes, pesticidas, piedra caliza, así como desechos urbanos, contienen cantidades mayores de metales pesados, que las que se encuentran en un suelo normal. Sin embargo, ciertas plantas muestran diversos grados de tolerancia a la toxicidad por metales pesados, lo que puede estar

correlacionada con la disponibilidad de estos metales en los suelos donde crecen las plantas.

CLAVE DE DIAGNOSIS DE DEFICIENCIAS DE NUTRIENTES EN LAS PLANTAS

A. Las hojas mas viejas de la planta son las mas afectadas; efectos generales e localidad

a) Efectos más o menos generalizados; desecamiento más o menos mercado de las hojas inferiores; planta de color verde pálido u oscuro.

1. Planta de color verde pálido; hojas inferiores amarillas que pasan al secarse a pardo claro; tallos cortos y finos en fases avanzadas de crecimiento

Nitrógeno

Deficiencia de este elemento en

NV: VID

NC : *Vitis vinifera*

AUTOR O FUENTE INFOJARDIN

<http://hort.ifas.ufl.edu/nutdef/elemsci.HTM>

Dibuje y Pinte



DIAGNOSTICO:

Síntomas de deficiencia

- El primer síntoma es hojas pequeñas color verde pálidas, hojas inferiores más claras (clorosis), que va tornándose en amarillo, incluyendo las nerviaciones; tallos débiles, crecimiento reducido, pocos brotes. Si la deficiencia continúa, sobreviene clorosis general y las hojas inferiores caen. Aunque la clorosis llegue a toda la planta los síntomas son más evidentes en las hojas viejas.
- Produce un crecimiento excesivo y una planta más fofa. Hojas verde



- oscuro y a menudo más carnosas y quebradizas.
- El exceso de amoníaco puede originar bordes enrollados y clorosis diferentes, seguidas de puntos necróticos. Especialmente con el frío o poca luz.
- No crece, el follaje es escaso, aunque puede florecer con cierta abundancia. En definitiva la planta tiene un aspecto raquítico y amarillento.
- Estos mismos síntomas también pueden producirlo Nematodos, asfixia radicular, daños en raíces, otras carencias, etc. por lo que hay riesgo de confusión.
- Rojos y púrpuras intensificados en los brotes.
- Necrosis en etapas avanzadas
- Los frutos se desprenden
- Desarrollo de follaje a costa de las flores
- Susceptibilidad a enfermedades -
- Sensibilidad a las heladas

Excesos de Nitrógeno

- Produce un crecimiento exagerado y color verde intenso.
- Se forman plantas débiles con tejidos tiernos, y, por tanto, más propensas a las plagas y enfermedades, al viento, a la lluvia, al granizo, a las heladas...
- Las plantas abonadas con un exceso de nitrógeno, son más sensibles a los ácaros (una plaga).
- La floración es escasa por el predominio de hojas (muchas hojas y pocas flores).
- Flores incompletas, sin estambres o sin pistilos. Caída de flores y frutos. Frutos con color anormal.
- Aparece gomosis en árboles frutales (exudación de goma por tronco y ramas).
- También se deprime la absorción de Fósforo, Potasio, Cobre y otros.



MAIZ (*Zea mays*)

- La deficiencia de nitrógeno no es fácil de detectar en las etapas tempranas de crecimiento y los síntomas severos rara vez aparecen antes que la planta haya llegado a la altura de la rodilla. Sin embargo, existe escasez de nitrógeno si las plantas jóvenes tienen una apariencia verde amarillenta, en contraste con el verde intenso que tienen las plantas saludables. Esto generalmente se puede corregir por medio de la aplicación de fertilizante en cobertera.

- En el momento que el maíz llega a la altura de la rodilla necesita aproximadamente 3.4 kg de nitrógeno por hectárea por día. Es en esta etapa que muchos campos de maíz se quedan sin nitrógeno. El síntoma se inicia con un amarillamiento en las puntas de las hojas bajas que gradualmente se expande entre las nervaduras y que luego continúa en las hojas más altas de la planta. Cuando el maíz ha alcanzado este tamaño es ya muy tarde para la aplicación de fertilizante en cobertera.
- 2. Planta de color verde oscuro; con frecuencia aparecen coloraciones verde o purpúreas; hojas inferiores amarillas que pasando al secarse a un color pardo verdoso o negruzco; tallos cortos y finos es estado avanzados de crecimiento.

FOSFORO.

Deficiencia de este elemento

Dibuje y Pinte

NV Plátano

NC **Musa paradisiaca**

AUTOR O FUENTE INFOJARDIN

DIAGNOSTICO:



Síntomas de deficiencia

- Suelen comenzar en las hojas inferiores y en los tallos. Hojas color verde oscuro apagado, en algunas plantas azulado semejante a los síntomas del frío puesto que éste inhibe la absorción de fósforo.
- Las hojas inferiores, las nerviaciones, los pecíolos o los tallos adquieren luego un color rojo o púrpura característicos. En los casos peores, las hojas inferiores pueden tener clorosis entre las nerviaciones y necrosis en los bordes.
- Crecimiento lento y escaso.
- Hojas deformadas.
- Tallos delgados y cortos.
- Desarrollo escaso de las raíces

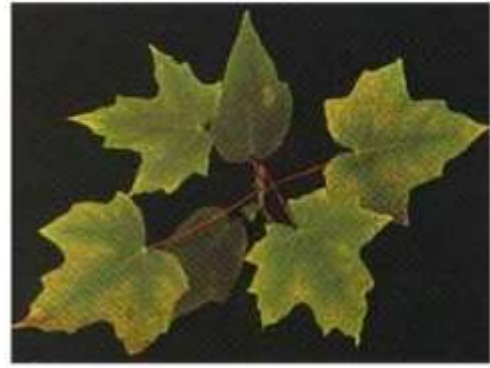
Interacciones

- El exceso de fósforo inhibe la absorción de nitrógeno
- El exceso de fósforo puede contribuir a la deficiencia de micronutrientes
- El alto contenido de Ca, Mn, P, Cu o Zn dificulta la absorción de Fe

Autor: <http://www.arbolesanos.com/tienda/>

Síntomas

- La deficiencia de Fósforo suele comenzar en las hojas inferiores, al igual que el Nitrógeno, que son más viejas.
- Hojas con un verde oscuro apagado que adquieren luego un color rojizo o púrpura característicos y llegan a secarse.
- Además, el número de brotes disminuye, formando tallos finos y cortos con hojas pequeñas.
- Menor desarrollo radicular, menor floración y menor cuajado de los frutos.
- No parece causar daños el exceso de este elemento.



Causas

- En los suelos calizos (pH alto) el fósforo se insolubiliza en parte, no estando a disposición de las plantas. La cal provoca su bloqueo.
- En los suelos ácidos, los fosfatos también resultan insolubilizados en forma de fosfatos de hierro.

MAIZ (*Zea mays*)

- Generalmente la deficiencia de fósforo aparece cuando las plantas son muy jóvenes. El síntoma se presenta como una mancha de color rojizo púrpura en las hojas. El fósforo también controla el tamaño del tallo y la formación de la mazorca. Una buena indicación de la deficiencia de fósforo es la presencia de tallos torcidos y débiles que no tienen mazorcas o éstas son pequeñas y deformes.
- b) Efectos casi siempre localizados; moteados o clorosis en las hojas inferiores, pueden o no presentar zonas necróticas.
- c. Clorosis de ápices, bordes zonas internervales acompañadas por la aparición de pigmentos rojos o púrpuras. Necrosis localizadas en zonas internervales principalmente

Magnesio.

Deficiencia de este elemento en

Dibuje y Pinte

NV : CAFE

NC : *Coffea arabica*

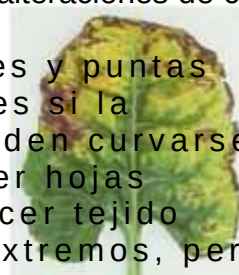
AUTOR O FUENTE: INFOJARDIN

DIAGNOSTICO:



Síntomas

- Es una deficiencia que se ve bien en hojas viejas, un color amarillento tanto entre los nervios como en los bordes, siendo las hojas de abajo las más afectadas (si fuera en hojas nuevas, habría que pensar en Hierro, Manganeso, etc.), menos un triángulo verde que queda en la base. Más tarde, también afecta a las hojas jóvenes. Finalmente, caída de hojas.
- Una de las causas más frecuentes de la carencia magnésica es el exceso relativo de Potasio en el suelo.
- Se manifiestan primero en las hojas inferiores, con alteraciones de color, bronce, rojizo o clorótico entre las nerviaciones, siendo más pronunciadas en los bordes y puntas e incluyendo la mitad de las nerviaciones si la deficiencia es severa. Los bordes pueden curvarse hacia arriba o abajo o pueden aparecer hojas arrugadas. Más adelante puede aparecer tejido necrótico y caída de hojas en casos extremos, pero con menor frecuencia que en el caso de deficiencia de potasio
- Los niveles elevados de magnesio suelen producir deficiencia de calcio



Adicionales:

- Crecimiento y brotación reducidos
- Hojas delgadas y quebradizas
- Moteado amarillo de las hojas, empezando por la punta
- Nerviaciones suelen permanecer verdes
- Nerviaciones amarillas en hojas nuevas
- Pequeñas manchas necróticas en las hojas viejas; en estados avanzados también las hojas nuevas pueden tener manchas
- Las nerviaciones pequeñas en hojas viejas pueden volverse marrones



Interacciones

- El exceso de potasio contribuye a las deficiencias de nitrógeno, calcio, magnesio, zinc o hierro
 - El exceso de Ca puede contribuir a deficiencias de magnesio y boro
- d. Clorosis localizadas, sin aparición de otros pigmentos por lo general zonas necróticas. grandes o pequeñas distribuidas irregularmente.

a. Clorosis en ápices y bordes principalmente y con zonas internervales, seguida por necrosis de estas mismas zonas tallos finos.....

Potasio.

Deficiencia de este elemento en

Dibuje y Pinte

NV. : COCO

NC : **Cocos nucifera**

AUTOR O FUENTE : INFOJARDIN

DIAGNOSTICO:

Síntomas

- Los primeros síntomas de su carencia, cuando todavía es leve, se observan en las **hojas viejas**; pero cuando es aguda, son los brotes jóvenes los más severamente afectados, llegando a secarse.
- Lo más típico, son los bordes y puntas de las hojas más viejas secas después de amarillear (ver fotos superiores).
- Son síntomas parecidos a la deficiencia de Magnesio, pero los del Potasio se centran más en los bordes.
- Quizás hojas jóvenes rojizas.
- Se reduce la floración, fructificación y desarrollo de toda la planta.
- El Potasio (K) aumenta la resistencia de la planta a las enfermedades, a la sequía y al frío; si falta, será más vulnerable a estos agentes.
- La carencia de Potasio es mucho más frecuente en los **suelos arenosos** debido a que se lava este elemento fuera del alcance de las raíces con la lluvia y el riego continuado. También en suelos con



mucha cal puede escasear.

- No hay excesos de Potasio que produzca toxicidad en la planta, puesto que serían necesarias cantidades muy grandes de abono. Sin embargo, tanta abundancia de Potasio puede provocar la carencia de Magnesio por antagonismo con él.

Adicionales

- Hojas jóvenes enrolladas hacia arriba.
- Hojas inferiores moteadas
- Distancia internodal corta
- Pocos brotes laterales
- Tallos débiles
- Facilidad al marchitamiento
- Raíces escasas
- Baja resistencia a enfermedades
- Frutos pequeños
- Puede causar deficiencia de Zn ó Fe

Interacciones

- El exceso de potasio contribuye a las deficiencias de nitrógeno, calcio, magnesio, zinc o hierro
- El exceso de calcio impide la absorción de potasio y amoníaco
- Una relación N / K alta favorece el crecimiento vegetativo
- Una relación K / N alta favorece la floración y fructificación

MAIZ (*Zea mays*)

- La deficiencia de potasio aparece como una "quemadura" o coloración café en los filos de las hojas más cercanas al suelo. Otro síntoma es la presencia de una decoloración café oscura en el interior de los nudos del tallo que se puede observar cortando el tallo a lo largo. Aún cuando la deficiencia de potasio puede no tener mucho efecto en el tamaño de las mazorcas, como ocurre con las deficiencias de fósforo y nitrógeno, los granos en la punta de las mazorcas no se desarrollan formando mazorcas imperfectas de poco valor.
- c)** Clorosis muy marcada en zonas internervales principalmente, ápices y bordes, manteniéndose verde la nervadura de las hojas, junto con una franja paralela a ellas, presentando un retículo característico. pequeñas e irregulares áreas necroticas entre las nervaduras hojas pequeñas y encorvadas.

Zinc.

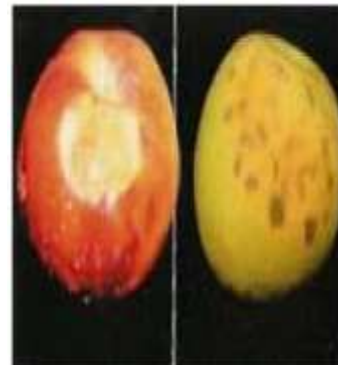
Deficiencia de este elemento e

Dibuje y Pinte

NV : MANZANA

NC : *Malus sylvestris*

AUTOR O FUENTE :INFOJARDIN



DIAGNOSTICO:

Síntomas

- La carencia de Zinc se da sobre todo en árboles frutales.
- Se manifiesta en las hojas más jóvenes, las brotadas en el año.
- Los entrenudos se acortan en los brotes, formando rosetas de hojas amarillentas, pequeñas y estrechas. Las hojas viejas aparecen bronceadas y se caen fácilmente.

Causas

- Suelos con pH alto (calizo). Un suelo ácido y arenoso lavado por la lluvia durante muchos años.

Solución: *en peral*

- Lo mejor para solucionarlo son los quelatos de Zinc, aplicados en el suelo o pulverizado en hoja.
- Otro producto, más bien de uso agrícola, es el Sulfato de Zinc. Dosis: 3 gramos de Sulfato de Zinc por 100 litros de agua. Empapar el sustrato. Otra posibilidad es la aplicación foliar en dosis de sulfato de zinc de 12g por 100 litros de agua.
- En plantaciones frutales también se puede hacer una pulverización con una solución de Sulfato de Zinc al 1 % y neutralizada con 0,5 % de cal. Igualmente es posible efectuar una pulverización de sulfato de cinc al 5 % antes del desborre.



Síntomas de deficiencia en naranjo

- La deficiencia no es frecuente. Aparece principalmente como deformaciones en el nuevo crecimiento, aunque puede también haber algún tipo de clorosis que no incluye las nerviaciones. Distancia internodal reducida, dando lugar incluso a la acumulación de hojas en roseta. Las hojas nuevas son más pequeñas y estrechas. Los ápices mueren.
- Toda la hoja afectada por clorosis pero las nerviaciones principales y los bordes suelen mantener el color. Aparece en hojas medias e inferiores.
- Hojas superiores encorvadas o con bordes arrugados y ásperos
- Ocasional clorosis brillante entre nerviaciones de hojas jóvenes y medias que suele empezar en puntas y bordes
- Puntos necrosados, hojas muertas. Abscisión de flores, Enrojecimiento y baja germinación.



Interacciones

- El exceso de potasio contribuye a las deficiencias de nitrógeno, calcio, magnesio, zinc o hierro
- El exceso de fósforo puede contribuir a la deficiencia de micronutrientes
- El alto contenido de Ca, Mn, P, Cu o Zn dificulta la absorción de Fe

MAIZ (*Zea mays*)

- Una indicación de la deficiencia de zinc es el crecimiento desigual del cultivo, con la presencia de plantas de crecimiento normal mientras que aparecen otras muy pequeñas, de solamente 40 a 50 cm de alto, en el momento de la floración.

- c. Hojas con manchas amarillas con bordes delimitados entre las nervaduras que luego se necrosa. Marchitándose y necrosis de bordes de la lámina que luego se encartucha.

.....

Molibdeno.

Deficiencia de este elemento en

Dibuje y Pinte

NV : AMASISA

NC : Erythrina berteroana

AUTOR O FUENTE : INFOJARDIN

DIAGNOSTICO:



Síntomas

- Aunque es poco frecuente la carencia de Molibdeno, los síntomas son muy parecidos al Nitrógeno: una clorosis general, empezando por las hojas viejas. La planta de verde claro tira a amarillo.
- Puede mostrarse como deformaciones en las hojas nuevas (hojas enrolladas o en cuchara) o como clorosis entre nerviaciones en hojas intermedias o inferiores o como necrosis de bordes.
- Este elemento es insolubilizado en suelos ácidos, contrariamente a los otros Micro nutrientes que se encuentran bloqueados en medios alcalinos y calizos. Su solución es subir el pH para que se solubilice el Molibdeno bloqueado.

B. las hojas más jóvenes de las plantas y las yemas terminales se hallan afectadas. síntomas generalmente localizados.

a) La yema Terminal muere y aparecen distorsiones en el ápice o en la base de las hojas jóvenes.

1. Las hojas se enrollan típicamente y presentan clorosis y luego necrosis principalmente en el ápice y bordes de la lámina. Las yemas laterales permanecen dormantes

Calcio.

Deficiencia de este elemento en

Dibuje y Pinte

NV: CAFÉ y tomate(*Lycopersicon sculentum*)

NC : **Coffea arabica**

AUTOR O FUENTE INFOJARDIN

DIAGNOSTICO:



Síntomas de deficiencia

- Aunque los síntomas varían entre especies, generalmente se observará necrosis de los ápices y de las puntas de hojas jóvenes además de algún tipo de deformación de las hojas, generalmente en gancho hacia abajo y, a menudo, clorosis en el nuevo crecimiento.
- Períodos de mucha o poca agua pueden afectar el contenido de Ca en la planta, que muestra la deficiencia de Ca en las zonas que lo necesitaron durante la carencia.
- Deformaciones de hojas: enrolladas, retorcidas, alargadas, curvadas, punta en gancho hacia abajo, hojas jóvenes con puntas pegadas
- Un exceso de Ca generalmente origina un aumento del pH que precipita muchos micronutrientes, creando carencias de los mismos.



Adicionales

- Hojas anormalmente verdes y Bordes amarillentos
- Hojas rasgadas
- No produce moteado
- Nuevo crecimiento reducido y Marchitamiento
- Fallo vascular en la base de la planta
- Estructura del tallo débil y Tallos muertos
- Abortan botones florales o se pudren sus puntas
- Raíces cortas con efecto "peine"
- Raíces negras y podridas
- Interfiere con la absorción de K y NH_4 . Puede contribuir a deficiencias de magnesio y boro



Interacciones

- El exceso de amoníaco produce deficiencia de calcio. El exceso de potasio contribuye a las deficiencias de nitrógeno, calcio, magnesio, zinc o hierro
- El exceso de Ca impide la absorción de K y de NH_4 también contribuir a deficiencias de magnesio y boro
- Los niveles elevados de magnesio suelen producir deficiencia de calcio
- El alto contenido de Ca, Mn, P, Cu o Zn dificulta la absorción de Fe
- Reduce la toxicidad de Al y Mn

2. Hojas retorcidas que presentan clorosis y luego necrosis principalmente en la base de la lamina hay gran brotación de yemas laterales

BORO.

Deficiencia de este elemento en

Dibuje y Pinte

NV : FRESA

NC : *Prunus domestica*

AUTOR O FUENTE : www.infoagro.com/frutas/frutas

INFOJARDIN

DIAGNOSTICO:

INFOJARDININFOJARDIN

Síntomas

- El Boro se acusa en tejidos de crecimiento y provoca un crecimiento lento.
- Falta de desarrollo debidos a la depresión del punto de crecimiento, una clorosis de las hojas jóvenes, o a veces su enrojecimiento, y frecuentemente una alteración de los frutos, con necrosis internas.
- Aparición de brotación lateral a consecuencia de la muerte de los ápices. Apariencia general de achaparramiento.
- Casi todos los frutales son sensibles a las carencias de Boro, pero los Manzanos, más.

**Causas**

- En terrenos calizos es donde se ha de temer una deficiencia de Boro. También en suelos arenosos por el lavado de las lluvias.
- Las condiciones de sequía son igualmente favorables a la aparición de la carencia, la cual es muy intensa cuando a una primavera lluviosa le sigue un verano seco.

**Solución**

- La deficiencia de Boro está muy extendida, pero puede ser fácilmente corregida. Existen correctores de carencias con Boro.
- Otro producto es Bórax. Dosis: 5 gramos por 100 litros de agua y regar con ese agua abundantemente.
- El pH elevado bloquea el Boro aplicado como



sal (Borax) y son necesarias dosis muy altas para obtener el efecto deseado.

- Hay que tener especial cuidado en las aportaciones de Boro al suelo; un exceso de dicho oligoelemento puede resultar tóxico para las plantas. No se debe añadir, por tanto, Boro de forma sistemática sin asegurarse de antemano de que existe una carencia del mismo.

Síntomas de deficiencia del plátano(Musa paradisiaca)

- La deficiencia no es muy corriente. Aparece en las hojas más jóvenes.
- Los síntomas principales son hojas más gruesas y pequeñas, pero sin clorosis, y distancia internodal más corta. Ápices muertos; tallos, pedúnculos y pecíolos quebradizos.
- Las hojas pueden empezar de color verde oscuro y desarrollar después puntos cloróticos y necróticos. Aparición de brotación lateral a consecuencia de la muerte de los ápices. Apariencia general de achaparramiento. La deficiencia puede ser originada por una transpiración mermada.
- Puntas y bordes de hojas con manchas necróticas rojizas o anaranjadas que van uniéndose para formar necrosis de bordes (similar a cuando hay elevada concentración de sales). Las hojas inferiores son las primeras en verse afectadas. Generalmente originado por un pH demasiado bajo.



Adicionales:

- Hojas nuevas bronceadas, rojizas o quemadas; pequeñas y quebradizas.
- Moteado amarillento. Los capullos se caen, los frutos caen o no se desarrollan
- Tallos cortos y duros y las raíces achaparradas. Las raíces secundarias hinchadas. No arraigan las semillas
- Necrosis marrón-anaranjado en bordes de hojas viejas. Manchas en el envés de las hojas

Interacciones

- El exceso de fósforo puede contribuir a la deficiencia de micronutrientes

- El exceso de Ca puede contribuir a deficiencias de magnesio y boro

- b. La yema Terminal, por lo general, permanece viva, clorosis parcial o generalizada en las hojas, nervaduras verdes o cloróticas con zonas necroticas o sin ellas.

1. En el ápice de las hojas “blanqueadas “de modo permanente (blanqueado apical) pero el resto adquiere una coloración oscura. Exudaciones gomosas. Enrollamiento típico de yemas y hojas.

Clorosis poco aparentes. Puede haber muerte de la yema
ermna

COBRE.

Deficiencia de este elemento en

N.V. NC AUTOR O

FUENTE:

INFOJARDIN

DIAGNOSTICO:

Dibuje y Pinte



Síntomas

- En hojas jóvenes se aprecian manchas cloróticas (amarillas) poco específicas. Aparecen primero en las hojas jóvenes y activas.
- La **tonalidad verde azulada de las hojas** constituye el principal síntoma de su carencia, aunque en los cítricos, se manifiesta por manchas y resquebrajado de corteza de frutos (se le llama Exantema).
- Los síntomas, aunque poco frecuentes, aparecen en las hojas nuevas en forma de deformaciones y suave clorosis entre nerviaciones, asemejándose a la deficiencia de zinc. Puede haber marchitamiento de puntas y bordes de las hojas jóvenes o en todo el brote nuevo.
- Es poco frecuente aunque puede tener su origen en el uso continuado de fungicidas basados en cobre. Suele mostrarse en las hojas intermedias o viejas en forma de clorosis de bordes, que luego deriva en necrosis.



Causas

- Las causas de su carencia son las mismas que las de otros Micronutrientes, el pH alto. Recuerda que LOS SUELOS CALIZOS

BLOQUEAN el Hierro (Fe), el Manganese (Mn), el Zinc (Zn) y el Cobre (Cu).

- Otra causa de la deficiencia de Cobre (Cu) son los terrenos muy lavados, básicamente suelos arenosos y pobres en fertilizantes.

Solución

- La aportación regular de cobre por medio de tratamientos fungicidas cúpricos, por ejemplo, Sulfato de Cobre en el Caldo Bordelés, Oxiclورو de cobre, etc., es suficiente para remediar esta deficiencia en todos aquellos lugares donde aparece. Las plantas consumen muy poco de este elemento.

Adicionales:

- Crecimiento nuevo reducido como también en roseta
- Hojas pequeñas o estrechas. Puntas necrosados. Necrosis del meristema apical. Puede darse con bajo pH mostrándose como síntomas de deficiencia de Fe. Puede ser tóxico incluso con bajos contenidos

Interacciones

- El defecto de cobre se agrava con alto contenido de nitrógeno. El exceso de fósforo puede contribuir a la deficiencia de micronutrientes
- El alto contenido de Ca, Mn, P, Cu o Zn dificulta la absorción de Fe

MAIZ (*Zea mays*)

- Una severa deficiencia de cobre aparecerá en las plantas jóvenes como un secamiento de las puntas de las hojas superiores y una torcedura y secamiento de las hojas más nuevas.

2. Clorosis intervenla, característica, nervios principales cloróticos mientras que pequeñas manchas necroticas esparcidas por toda la hoja.

.....

MANGANESO.

Deficiencia de este elemento en

NV : FREJOL

NC : **Phaseolus vulgaris**

AUTOR O FUENTE :INFOJARDIN

<http://hort.ifas.ufl.edu/nutdef/elemsci.HTM>

Dibuje y Pinte



DIAGNOSTICO:

Síntomas

- La carencia de Manganeso ofrece síntomas parecidos a los del Hierro: hojas jóvenes amarillas entre los nervios que permanecen verdes. Se puede diferenciar porque en este caso aparece una **aureola verde alrededor de los nervios**. Con carencias muy fuertes también amarillearán dichos nervios.

Causas

- Se debe generalmente a suelos con pH demasiado alto, suelos calizos.
- También es por suelos arenosos muy lavados.

Solución

- Es corriente considerar todas las clorosis como carencia de Hierro, y por eso las aplicaciones de quelatos de Hierro no son eficientes.
- Aplica quelatos de Manganeso al suelo o pulveriza sobre las hojas.
- Otro producto es el Sulfato de Manganeso, 3g por 100 litros de agua. Empapar el sustrato. O bien, un pulverizado foliar con Sulfato de Manganeso en dosis de 12 gramos por 100 litros de agua.
- En plantaciones frutales, se puede añadir sulfato de manganeso al suelo en dosis de 100-300 kg/ha., pero es más eficaz pulverizar el cultivo con una solución de este producto al 0,3-1%, en dosis de unos 500 l/ha, en abril-mayo, preferentemente en dos aplicaciones.

Síntomas de deficiencia del tomate (*Lycopersicon sculentum*)

- Los primeros síntomas recuerdan a los de la falta de hierro o de nitrógeno, es decir, se manifiestan en las hojas jóvenes en forma de clorosis entre las nerviaciones que, incluso las más pequeñas, permanecen verdes. Sin embargo, es menos probable que se origine una clorosis en toda la planta.
- En las situaciones más graves puede aparecer necrosis en las hojas jóvenes,



mientras los ápices permanecen vivos. La deficiencia se debe generalmente a un pH demasiado alto para la planta o al exceso de hierro.

- El exceso puede originar síntomas de deficiencia de hierro. Puede producirse un exceso por un pH demasiado bajo

Adicionales:

- Crecimiento reducido
- Hojas estrechas y enrolladas
- Pueden aparecer puntos necrosados entre las nerviaciones con áreas cloróticas a su alrededor. El tejido necrosado incluso llega a desprenderse dejando un agujero.
- En ocasiones las hojas más jóvenes pueden ser verdes mientras las anteriores están cloróticas, con lo que se produce un curioso efecto de damero.
- Floración de pequeño tamaño y manchas marrones en hojas
- Hojas medias e inferiores con puntos cloróticos que progresan volviéndose necróticos.



Interacciones

- El exceso de fósforo puede contribuir a la deficiencia de micronutrientes
- El alto contenido de Ca, Mn, P, Cu o Zn dificulta la absorción de Fe
- El exceso de hierro puede provocar deficiencia de manganeso
- La falta de manganeso dificulta la absorción de nitrógeno
- El Ca reduce la toxicidad de Al y Mn

3. Clorosis generalizadas, manteniéndose verdes las nervaduras. en deficiencias severas puede haber blanqueado total de hojas

HIERRO.

Deficiencia de este elemento en

NV : naranjo

NC : *Citrus aurantium*

Autor o

Fuente: <http://www.arbolesanos.com>

Dibuje y Pinte



DIAGNOSTICO:

Síntomas

- La clorosis férrica se manifiesta primero en las hojas jóvenes. Éstas, se ven amarillas menos los nervios que permanecen verdes. Más tarde, quedarán casi totalmente amarillas. También en las hojas viejas aparecen síntomas de amarilleo. Después las hojas se arrugan y caen.
- No es una clorosis uniforme. Por ejemplo, se puede ver en la misma planta ramas con clorosis bastante fuerte junto a otras ramas sanas.
- Hay especies vegetales más sensibles que otras a la falta de Hierro. Por ej., el Naranja lo acusa, pero el Olivo no tiene este problema. Sensibilidad a clorosis tienen Callistemon, Hibisco, Nandina, Camelia, Hortensia entre otras muchísimas plantas.

Causas

- Normalmente las carencias aparecen a causa de un bloqueo del Hierro en el suelo debido al pH.
- En los suelos calizos (es decir, que tienen mucha cal, pH alto) el Hierro está bastante insoluble, es decir como mineral (imagínate una piedrecilla por así decirlo), no disuelto en agua, y por tanto, no absorbible por las raíces.
- Por ello, en un suelo calizo, que casi siempre tendrá el pH mayor de 7,5, hay muchas posibilidades de que aparezca este problema.
- Una Azalea, una Hortensia, un Naranja, un Roble, etc. plantados en estos suelos alcalinos (pH mayor de 7.5) es probable que sufran la llamada clorosis férrica.
- Otra causa, aparte de los suelos alcalinos, es regar con aguas calcáreas, particularmente en macetas. El riego con aguas duras, termina alcalinizando el substrato y bloqueando el Hierro y otros micronutrientes.
- En frutales, a los 2-3 años de la plantación cuando la raíz llega a la capa caliza del subsuelo es cuando se muestran los síntomas.

Solución

Quelatos

- Cuando se produce esta carencia, la cura más eficaz es dar a la planta **quelatos de Hierro**, que es un fertilizante especialmente diseñado para estos casos. Los *quelatos de hierro*, o de otros Micronutrientes, se caracterizan por tener una estructura química que evita su insolubilización en el suelo, están como "protegidos" del bloqueo del pH alcalino.



- Hay quelatos por vía radicular y por vía foliar. Los vía foliar, es decir, pulverizándolo sobre las hojas (abonos líquidos) van bien, las hojas se vuelven verdes en 24 horas o pocos días. Respeta la dosis indicada para no provocar quemaduras.
- Los abonos foliares resultan muy interesantes para Micronutrientes (Hierro, Cobre, Manganeseo, Zinc, Boro, Molibdeno) porque la planta necesita pequeñas cantidades, pero no tanto para Macronutrientes (Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio, Calcio y Azufre) que sólo puede ser un complemento a las raíces.
- Una tercera opción son las inyecciones de tronco, pero es un método más profesional. Las inyecciones, aunque normalmente efectiva, resulta caras y únicamente aplicable a árboles de cierta edad. Visitar esta web para saber más:

Síntomas de deficiencia . Pereal (*Erythrina senegalensis*)

Clorosis de las hojas superiores pudiendo progresar hacia las nerviaciones más pequeñas mientras las mayores permanecen verdes; las hojas más jóvenes pueden quedar casi blancas. Aparición de necrosis de puntas y bordes de hojas en las situaciones más graves, aunque los ápices siguen vivos. La deficiencia se debe generalmente a un pH demasiado alto para la planta.



Aunque la tolerancia al exceso es muy amplia, puede provocar deficiencia de manganeso. El ligero exceso de hierro da un color verde oscuro a las hojas, incluídas las más jóvenes que ya no llegan a tener el clásico "verde primavera".

Adicionales:

- Síntomas similares a la falta de Mn - Tallos delgados
- Frutos descoloridos
- Hojas medias e inferiores con puntos cloróticos que progresan volviéndose necróticos.

**Interacciones**

- El exceso de potasio contribuye a las deficiencias de hierro, nitrógeno, calcio, magnesio o zinc
- El exceso de fósforo puede contribuir a la deficiencia de micronutrientes
El alto contenido de Ca, Mn, P, Cu o Zn dificulta la absorción de Fe
- Los bicarbonatos, carbonato cálcico, el exceso de nitratos y el pH elevado dificultan la absorción y asimilación del hierro
- El exceso de hierro puede provocar deficiencia de manganeso

4. Hojas jóvenes uniformemente verde pálido a amarillas, ápices encurvados hacia abajo. puede haber necrosis de ápice y bordes

AZUFRE.

Deficiencia de este elemento en

NV.

NC

AUTOR O

FUENTE

DIAGNOSTICO

Síntomas

- La deficiencia es poco frecuente y se presenta como una clorosis general, con hojas más claras hacia la parte superior de la planta. Nerviaciones más claras que el resto.

Dibuje y Pinte

- Los síntomas son muy semejantes a la carencia de Nitrógeno y es difícil saber si corresponde a uno u otro. Sería necesario un análisis foliar de laboratorio.

Los ápices permanecen vivos.

Adicionales:

- Crecimiento lento
- Raíces y tallos pequeños, duros y leñosos

NOTA: Para la aplicación de esta clave debe tenerse en cuenta, edad de las hojas ubicación de deficiencias en cada hoja, marginal internerval, apical, etc. Las deformaciones que causan en hojas, raíces, como en cortas de tallos.

Analice casos clásicos de enfermedades virosicas, bacteriales, fungosas, daños, causándoos por insectos o escaldaduras.

Libro **Botánica** OnLine

<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg>

Nutrición Mineral de las Plantas

CONTENIDO

/ NUTRICIÓN MINERAL / CRITERIOS DE ESENCIALIDAD /

:

MACRONUTRIENTES

/ NITRÓGENO / CALCIO / POTASIO / AZUFRE / FÓSFORO / MAGNESIO / SILICIO

/ MICRONUTRIENTES (OLIGOELEMENTOS)/

OLIGOELEMENTOS ANIÓNICOS (B, Cl, Mo)

/ BORO / CLORO / MOLIBDENO /

OLIGOELEMENTOS CATIÓNICOS (Zn, Fe, Cu, Mn, Ni, Na)

/ CINC / HIERRO / COBRE / MANGANESO / NÍQUEL / SODIO

/TOXICIDAD POR METALES / TOXICIDAD POR ALUMINIO / TOXICIDAD POR HIERRO /

/TOXICIDAD POR MANGANESO / TOXICIDAD POR MERCURIO / TOXICIDAD POR OTROS METALES/

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Airmedien, P. 1988. **La controversia del ozono**. Mundo Científico. Nº 79 442-454.
2. Babor, J.A, y J. Ibarz Aznarez. 1963. **Química General Moderna**. Marín, Barcelona. 1144 p.
3. Bornemisza, E. 1982. **Introducción a la Química de Suelos**. O.E.A., Washington. 74 p.
4. Brown, P.H., R.M. Welch y E. E. Cary. 1987. **Nickel: A micronutrient essential for higher plants**. Plant Physiology. 85: 801-803.
5. Buckman, H.O y N.C. Brady. 1977. **Naturaleza y Propiedades de los Suelos**. Montaner y Simón, S.A., Barcelona. 590 p.
6. Cabrera, G y H. Verde. 1989. **Cultivo casero del berro**. Agronomía al día. Año 2 Nº 3: 18.
7. Chapman, H.D. 1955. **Diagnostic criteria for plants and soils**. University of California, Division of Agricultural Sciences, California. 793 p.
8. Clarkson, D.T. y J.B. Hanson. 1980. **The mineral nutrition of higher plants**. Ann. Rev. Plant Physiol. 31:239-298.
9. Deysson, Guy. 1966. **Physiologie et Biologie des plantes vasculaires**. Premiere Partie: Nutrition et Metabolisme. SEDES, París. 289 p.
10. Eskew, D. L, R.M. Welch, and W. A. Norvell. 1984. **Nickel in higher plants. Further evidence for an essential role**. Plant Physiol. 76: 691-693.
11. Fassbender, H.W. y E. Bornemisza. 1987. **Química de Suelos**. I.I.C.A., Costa Rica. 420 p.
12. Foy, C.D.; R.L. Chaney y M.C. White. 1978. **The Physiology of Metal Toxicity in Plants**. Ann. Rev. Plant Physiol. 29:511-556.
13. Gil Martínez, F. 1994. **Elemento de Fisiología Vegetal**. Mundi Prensa, Madrid. 1147 p.
14. Hernández-Gil, R. **Deficiencia de boro en una Plantación de Pinus radiata y Pinus oocarpa situada en el vergel-Mérida**. XXVIII Convención anual de ASOVAC, Maracay 12-17 de noviembre de 1978.
15. Hernández Gil, R. y C. Lombardo C. 1987. **Deficiencias de macronutrientes en Pinus caribaea var. Hondurensis Morelet**. Barr. y Golf. Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida. 109 p.

16. Hernández Gil, R. 1989. **Nutrición Mineral**. Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida 81p.
17. Heppler, P.K. y R.O. Wayne. 1985. **Calcium and plant development**. Ann. Rev. Plant Physiol. 36:397-439.
18. Kramer, P. J. y T.T. Kozlowski. 1979. **Physiology of woody Plants**. Academic Press, New York. 81p.
19. Lambert, G. 1987. **El dióxido de carbono en la atmósfera**. Mundo Científico. Nº 72: 848-857.
20. Larcher, W. 1995. **Physiological Plant Ecology**. Springer Verlag, Berlin. 506 p.
21. Levitt, J. 1974. **Introduction to plant physiology**. The C.V. Mosby Co., Saint Louis. 447 p.
22. Noggle, R.G. y G.J. Fritz. 1976. **Introductory Plant Physiology**. Prentice-Hall, New Jersey. 688 p.
23. Patra, M y A. Scharma. 2000. **Mercury toxicity in plants**. **The Botanical Review** 66(3):379-422. .
24. Price, C.A. 1970. **Molecular approaches to plant physiology**. Mc Graw-Hill, New York. 398 p.
25. Raven, H. y H. Curtis. 1975. **Biología Vegetal**. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 716 p.
26. Ruhland, N. 1958. **Encyclopedia of Plant Physiology**. Vol. IV. Mineral Nutrition of Plants. Springer Verlag, Berlin. 1210 p.
27. Rusell, E. W. 1973. **Soil Conditions and Plant Growth**. Longman, London. 849 p.
28. Salisbury, F.B. y C. W. Ross. 1992. **Plant Physiology**. Wadsworth Publishing. Co., California. 682 p.
29. Sillanpaa, M. 1972. **Los oligoelementos en los suelos y en la agricultura**. FAO, Roma. 71 p.
30. Sitte, P; M. Ziegler; F. Ehrendorfer y A. Bresinsky. 1994. **Tratado de botánica**. Omega, Barcelona 1068 p.
31. Smith, S.E. y V. Gianinnazzi-Parson. 1988. **Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrizal plants**. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 39:201-244.

32. Steward, F.C. 1963. **Plant Physiology. Vol. III: Inorganic nutrition of plants.** Academic Press, New York. 811 p.
33. The New Encyclopaedia Britannica. 1980. **Encyclopaedia Britannica**, Inc., Chicago. 30 volumenenes.
34. Ting, I.P. 1982. **Plant Physiology.** Addison-Wesley, California. 642 p.
35. Trewavas, A.J. Ed. 1986. **Molecular and cellular aspects of calcium in plant development.** Plenum Press, New York. 452 p.
36. Turner, J. y M. Lambert. 1986. **Nutrition and Nutritional relationships of Pinus radiata.** Ann. Rev. Ecol. Syst. 17:325-350.
37. Walker, D. C, R. D. Graham, J. T. Madison, E. E. Cary, and R. M. Welch. 1985. **Effects of Ni deficiency on some nitrogen metabolites in cowpeas** (Vigna unguiculata L. Walp). Plant Physiol. 79: 474-479.
38. White, A; P. Handler y E.L. Smith. 1959. **Principles of biochemistry.** McGraw Hill, New York. 1106 p.
39. Taiz, L. y E. Zeiger. 2002. **Plant Physiology.** Sinauer Associates, Inc., Massachusetts. 690 p.

Este es un Material didáctico elaborado por:

Rubén Hernández Gil, PhD.

Profesor de Fisiología Vegetal, Departamento de
Botánica, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.
Universidad de Los Andes - Mérida - Venezuela

[e-mail: rubenhg@ula.ve](mailto:rubenhg@ula.ve)

Copyright © 2001 - Version 2.0 - Reservados todos los
derechos.

Revisado: .

Sitio construido por: Argenis T. Valderrama

III. ESPACIO LIBRE APARENTE.

El *espacio libre aparente* o apoplasto (espacio intercelular de células epidermales y corticales) permite el transporte de agua y de iones en regiones de tejidos radicales que no requieren transporte a través de una membrana impermeable. La absorción de agua desde el suelo hacia el apoplasto se presenta por capilaridad y osmosis. La capilaridad se presenta cuando el espacio intercelular es más pequeño que el espacio lleno con agua en el suelo y el agua puede moverse de áreas con menor potencial hídrico. Osmosis es el transporte de agua de áreas de menor a otras con mayor concentración.

Término introducido por Hope y Stevens (1952) para referirse al espacio libre de agua que es accesible a iones y moléculas con o sin carga.

IV. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO DE LA RAÍZ.

La función de las bandas casparianas en la endodermis es la de servir como barrera impermeable que le permite seleccionar y regular la absorción de iones. En tejido maduro, previene la entrada de agua y de iones directamente al xilema; así, el agua y los iones que entran a la célula o citoplasma pueden ser transportados a través de la membrana plasmática. Una vez en el interior, el transporte puede darse por vía simplástica a través de conexiones celulares o *plasmodesma*.

V. MECANISMOS DE ABSORCIÓN DE LOS NUTRIENTES.

Los vegetales de organización cormofítica tienen estructuras especializadas para la absorción y el transporte de los nutrientes: raíces, tallos y hojas.

a) PROCESOS DE DIFUSIÓN

Para penetrar en la raíz, las sustancias químicas deben atravesar la membrana. Pueden hacerlo por **transporte pasivo** (por difusión, de donde está más concentrado el medio a donde está menos) o por transporte activo.

Las moléculas pequeñas en general la atraviesan sin dificultad, por **difusión simple**. Por su naturaleza compacta y fundamentalmente lipídica, se podría esperar que las membranas resultaran poco permeables a moléculas grandes o muy polares.

b) PERMEABILIDAD DE LAS MEMBRANAS

La difusión de una sustancia a través de la membrana dependerá de la diferencia de potencial electroquímico, pero se verá influida también por la facilidad con que

la membrana puede ser atravesada por la molécula en cuestión, es decir, por la **permeabilidad de la membrana**.

La existencia de mecanismos de transporte activo dota a las membranas de una **permeabilidad selectiva**, que de esta manera actúan como filtro y permiten la regulación de las entradas y salidas de distintas moléculas en el simplasto.

c) ABSORCIÓN METABÓLICA DE LOS IONES

La concentración iónica en el apoplasto es menor que en la solución del suelo; por lo que la difusión se presenta como respuesta a un gradiente de alta a baja concentración. Las células de la superficie interior de la corteza están cargadas negativamente, lo que permite la atracción de cationes. El intercambio de cationes se presenta en la superficie extracelular y explica por qué la absorción de cationes excede la de aniones. Para mantener la neutralidad eléctrica, las células radicales liberan H^+ haciendo descender el pH cerca de su superficie. Por lo anterior, *la difusión y el intercambio iónico son procesos pasivos debido a que su paso al apoplasto está regulado por gradientes en concentración iónica (difusión) y eléctrica (intercambio iónico). Son procesos no selectivos y no requieren del gasto de energía metabólica.*

d) NATURALEZA DE LOS TRANSPORTADORES

La velocidad con la que se mueven depende de la temperatura, presión, concentración y tamaño.

El transporte de iones, ya sea pasivo o activo, requiere energía, física en el primer caso y metabólica en el segundo. En una célula, la fuente de energía es el metabolismo, que produce energía química y poder reductor. La energía metabólica se transforma en energía útil para el transporte de iones en las membranas a través de la actividad de las bombas primarias. Estas bombas son proteínas de membrana que mueven iones (masa y carga) en contra de su gradiente de potencial electroquímico, utilizando energía metabólica y generando gradientes tanto de concentración como eléctricos. El transporte de iones que tiene lugar a través de las bombas primarias se denomina transporte primario.

e) CRITERIO ABSOLUTO DE TRANSPORTE ACTIVO – PASIVO

Transporte pasivo □ Proceso de Difusión (del medio más concentrado al medio menos concentrado).

Transporte activo □ se trata de llevar hormonas de zonas de afloramiento a zonas de déficit, o transportar hormonas al lugar donde se necesita su acción.

El transporte pasivo es mucho más rápido, el activo es muy lento, el pasivo transporta mucha mayor cantidad de agua y el activo transporta menos. El pasivo es discontinuo, intermitente y el activo es constante.

f) OTROS FACTORES RELACIONADOS CON LA ABSORCIÓN

i. PRESIÓN DEL OXÍGENO

Es la fuerza con la que el agua penetra en la raíz llegando hasta los vasos y la puede elevar hasta algunos metros

La planta entra en un estado de estrés, debido a que el agua a expulsado el oxígeno del suelo, por esa razón es necesario que el exceso de agua sea eliminado de la zona de raíces y permita la entrada paulatina del oxígeno.

ii. ACTIVIDAD DE IONES HIDRÓGENOS (PH).

La cantidad o concentración de iones de hidrógeno que tiene la solución del suelo determina la acidez o alcalinidad del mismo. Cuando la concentración de iones de hidrógeno que posea la solución es alta se dice que es ácida, cuando la concentración de H^+ es baja se dice que es básica o alcalina.

Para medir esta característica de la solución del suelo se usó el pH, un suelo es neutro cuando el pH es igual a 7, ácido cuando el pH es inferior a 7 y básico cuando es superior a dicho nivel. En el suelo raramente se llega a un pH inferior a 4 (muy ácido) o al pH 10 (demasiado alcalino). Los suelos agrícolas generalmente tienen un pH entre 6 y 7.5, rango en el que mejor se desarrolla las plantas.

El pH se refiere a la concentración de H^+ del complejo absorbente (retenidos en los coloides), es decir que da una medición parcial y no total; los suelos pueden tener el mismo pH pero pueden variar en su contenido total H^+ (I del complejo absorbente más el de la solución del suelo) en general en un suelo ácido a medida que aumenta su capacidad de cambio (capacidad de retener los cationes) es mayor su acidez total para un mismo pH de la solución, al disminuir el pH del suelo se frena al desarrollo de muchos microorganismos, disminuyendo las cantidades de elementos nutritivos, asimilables por las plantas y se incrementa de elementos tóxicos que las raíces absorben.

Para corregir la acidez total del suelo, es decir, para aumentar el pH de estos suelos ácidos se procede el “encalado” que es la adición de cal al suelo para sustituir los iones hidrógeno por los iones de calcio, tanto en la solución como en el complejo como un suelo arcilloso tiene, por las características de sus coloides, una mayor capacidad de cambio, necesita que se le añada más calcio que si fuera un suelo arenoso posee una capacidad de cambio menor.

iii. LA LUZ.

La luz ejerce un efecto directo sobre el crecimiento y florecimiento provocando el proceso de fotosíntesis por el cual las plantas obtienen energía. Las plantas dependen de la luz para producir su alimento, inducir el ciclo de crecimiento y permitir un desarrollo sano. Sin luz, ya sea natural o artificial, la mayoría de las plantas no podrían crecer ni reproducirse, la fotosíntesis no tendría lugar sin la energía absorbida de la luz solar y no habría oxígeno suficiente para que continúen viviendo.

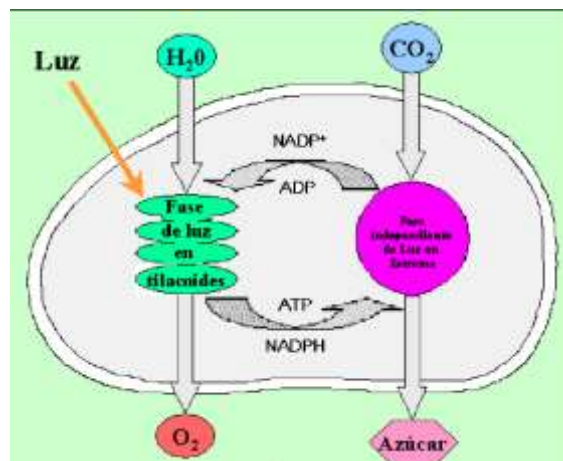
Fase dependiente de la luz:

- Se absorbe la luz solar y se convierte en energía química.
- Las reacciones dependientes de luz ocurren en la membrana de los tilacoides de los cloroplastos.
- Durante esta reacción se descompone agua, se libera oxígeno como producto secundario, y se sintetiza ATP y NADPH.

Fase independiente de la luz:

- Las reacciones independientes de la luz (o de fijación de carbono) ocurren en el estroma del cloroplasto.
- La energía del ATP y del NADPH, producidos en las reacciones dependientes de la luz, se usa para transformar el bióxido de carbono en carbohidratos.

Para utilizar la energía solar se requiere que la luz sea absorbida por pigmentos fotosintéticos que se encuentran en las membranas de los tilacoides en los cloroplastos. El pigmento principal para la fotosíntesis es la clorofila a. También hay pigmentos accesorios, como la clorofila b, el caroteno y la xantofila, que absorben la luz y la transfieren a la clorofila a.



iv. SÍNTESIS DE PROTEÍNAS

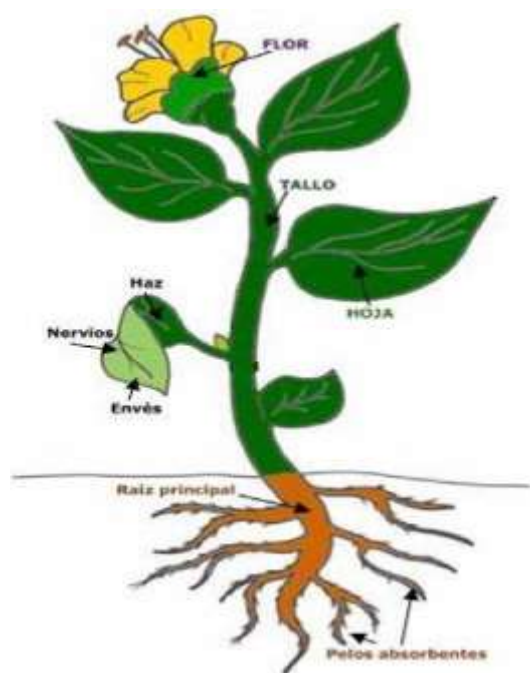
La síntesis de proteínas o traducción del ARN es el proceso anabólico mediante el cual se forman las proteínas a partir de los aminoácidos. Es el paso siguiente a la transcripción del ADN a ARN. Como existen 20 aminoácidos diferentes y sólo hay cuatro nucleótidos en el ARN (Adenina, Uracilo, Citosina y Guanina), es evidente

que la relación no puede ser un aminoácido por cada nucleótido, ni tampoco por cada dos nucleótidos, ya que los cuatro tomados de dos en dos, sólo dan dieciséis posibilidades. La colinearidad debe establecerse como mínimo entre cada aminoácido y tripletes de nucleótidos. Los tripletes que codifican aminoácidos se denominan codones. La confirmación de esta hipótesis se debe a Nirenbert, Ochoa y Khorana. En la biosíntesis de proteínas se pueden distinguirlas siguientes etapas.

v. CRECIMIENTO

Las plantas, como todo ser vivo nacen, crecen, se reproducen, y mueren.

Las partes u órganos de los que se compone una planta son los que se muestran en la siguiente ilustración:



La germinación es el conjunto de fenómenos que ocurren cuando el embrión contenido de la semilla pasa de la vida latente a la vida activa. Ocurre cuando las reservas nutritivas son movilizadas por la acción de las diastasas, al ser puesta la semilla en condiciones de temperatura y humedad adecuadas. El embrión y el endospermo se hinchan; la gémula y la radícula comienzan su desarrollo: la gémula se hunde en la tierra y la radícula se eleva por encima del suelo hasta ponerse en contacto con la luz, con la atmósfera, y entonces forma la clorofila.

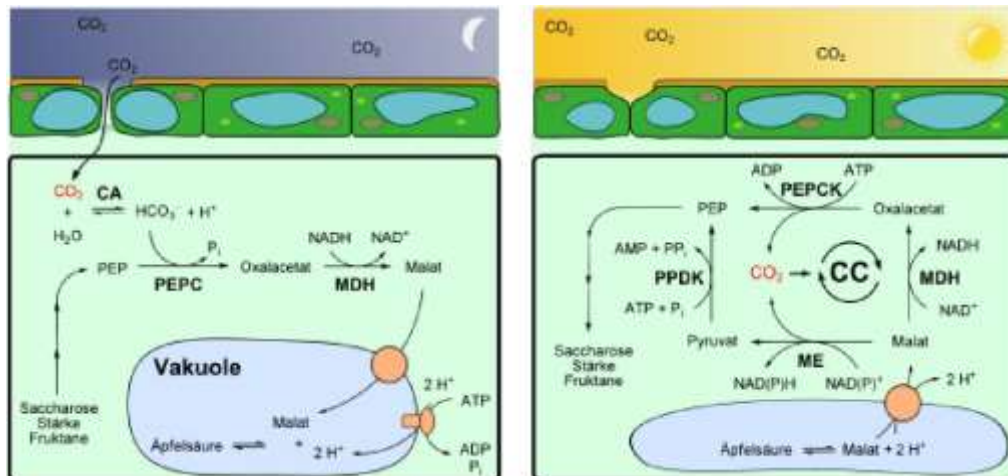
vi. POTENCIALIDAD AGUA DEL MEDIO

Cuando dos masas de agua tienen diferente potencial hídrico, habrá una tendencia del agua a desplazarse espontáneamente desde el lugar con mayor potencial hacia el lugar con menor potencial. Si en el camino no hay barreras este desplazamiento se realizará sin aporte externo de energía. Es decir, los movimientos o flujos de agua, se producirán de manera espontánea a favor de gradiente de potencial hídrico, desde los lugares de mayor Ψ a los lugares de menor Ψ . El flujo de agua será directamente proporcional a la diferencia de potencial hídrico pero también dependerá de las resistencias que encuentre en su recorrido, ante varios caminos posibles, el flujo se dirigirá mayoritariamente a través de las zonas de menor resistencia.

vii. METABOLISMO DE ÁCIDOS ORGÁNICOS

Es un tipo de metabolismo que se da en plantas y que se descubrió en la familia de las *crasuláceas*, de ahí su nombre. El nombre de metabolismo ácido hace referencia a la acumulación de **ácidos orgánicos** durante la noche por las plantas que poseen este mecanismo de fijación de carbono. Esta vía metabólica es semejante a la vía C₄, sin embargo en la vía CAM la separación de los dos

carboxilaciones no es espacial, como ocurre en las plantas C₄, sino temporal.



Esquema

del **metabolismo ácido de las crasuláceas** durante la noche (a la izquierda, fase I) y durante el día (a la derecha, fase III).

- **CA** Anhidrasa carbónica-α.
- **CC** Ciclo de Calvin.
- **PEP** Fosfoenolpiruvato.
- **PEPC** Fosfoenolpiruvato carboxilasa.
- **PEPCK** Fosfoenolpiruvato carboxiquinasa.
- **MDH** Malato deshidrogenasa.
- **ME** Malato deshidrogenasa (descarboxilante) = Malatoenzima.
- **PPDK** Piruvato fosfato diquinasa.

g) ABSORCIÓN DE ELEMENTOS MINERALES EN FORMA NO IÓNICAS

Transporte de Fe soluble hacia las raíces: Este transporte viene ralentizado por las bajas concentraciones de Fe y por las retenciones que este elemento sufre sobre distintos materiales edáficos. La presencia de transportadores sería muy

beneficiosa.

i. QUELATOS □ EDTA Fe.

En la actualidad es el uso de quelatos la forma más eficaz de corregir la clorosis y esto es así por su especial forma de acción, diferente al del resto de los fertilizantes. Mientras que en cualquier otro tipo de fertilizante el principio activo es

el propio elemento que van a aportar, en los quelatos férricos esto no es así. Ya hemos comentado que en el suelo hay suficiente hierro, por lo que es el agente quelante que lo acompaña el responsable principal de su acción. Los quelatos (ver figura 2) deben: 1º incrementar la solubilización de hierro, 2º transportarlo hacia la raíz de la planta, 3º ahí deben ceder el Fe y 4º la parte orgánica del quelato debe volver a solubilizar más hierro. Es aquí donde el quelato actúa de modo bien diferente al resto de los fertilizantes. Así, por ejemplo un potasio añadido al suelo será aprovechado o no, pero un quelato no sólo aportará el hierro que con él se aplica al cultivo, sino que puede aumentar el aprovechamiento del hierro nativo del suelo.

Recientemente Álvarez-Fernández, 2000, ha publicado, como parte de su tesis doctoral desarrollada en nuestro laboratorio un estudio en el que recoge las características de 80 productos, la mayoría de ellos comercializados durante 1998, algunos de 1999 y otros anteriores.

h) NUTRICIÓN FOLIAR

La fertilización foliar puede ser utilizada para superar problemas existentes en las raíces cuando éstas sufren una actividad limitada debido a temperaturas bajas/altas (<10°, >40°C), falta de oxígeno en campos inundados, ataque de nematodos que dañan el sistema radicular, y una reducción en la actividad de la raíz durante las etapas reproductivas en las cuales la mayor parte de los fotoasimilados es transferida para reproducción, dejando pocos para la respiración de la raíz (Trobisch y Schilling, 1970). La nutrición foliar ha probado ser la forma más rápida para curar las deficiencias de nutrientes y acelerar la performance de las plantas en determinadas etapas fisiológicas. Con el cultivo compitiendo con las malezas, la pulverización foliar focaliza los nutrientes sólo en aquellas plantas seleccionadas como destino. Se ha encontrado además que los fertilizantes son químicamente compatibles con los pesticidas, y de esta forma se ahorran costos y mano de obra. Cierta tipo de fertilizantes puede incluso desacelerar la tasa de hidrólisis de pesticidas/hormonas de crecimiento (GA3), debiendo bajarse el pH de la solución y lográndose de esta forma mejorar la performance o reducir costos.

Los fertilizantes aplicados a través de la superficie de las hojas (canopia), deben afrontar diversas barreras estructurales a diferencia de los pesticidas, que están principalmente basados en aceite y que no presentan dificultades para penetrar en este tejido. Los fertilizantes que están basados en sales (cationes/aniones) pueden presentar algunos problemas para penetrar las células interiores del tejido de la planta.

¿Cómo penetran los nutrientes en el tejido de las plantas?

Cuando nos referimos a la penetración de nutrientes podemos definir dos movimientos:

1. Hacia el tejido desde el exterior, que se conoce como absorción.
2. Desde el punto de penetración hacia otras partes de la planta, conocido como traslado.

FACTORES INTERNOS

El factor puramente genético de la especie determina la capacidad de absorción de los distintos iones. Existen algunas especies de plantas que pueden absorber sales y acumularlas en un grado mucho mayor que otras sin que se produzcan efectos tóxicos.

La etapa fenológica de la planta es otro factor interno que determina la absorción de iones. Las plantas absorben la mayor cantidad de nutrientes durante la etapa vegetativa, ya que en el momento de la floración se detiene relativamente la absorción pues la planta está gastando grandes cantidades de energía en dicho proceso de desarrollo. El estado general de sanidad de la planta también influye directamente. Se ha demostrado que una planta enferma posee menos capacidad de absorción de nutrientes.

EL PH DEL SUELO

La cantidad o concentración de iones de hidrógeno que tiene la solución del suelo determina la acidez o alcalinidad del mismo. Cuando la concentración de iones de hidrógeno que posea la solución es alta se dice que es ácida, cuando la concentración de H^+ es baja se dice que es básica o alcalina.

Para medir esta característica de la solución del suelo se usó el pH, un suelo es neutro cuando el pH es igual a 7, ácido cuando el pH es inferior a 7 y básico cuando es superior a dicho nivel. En el suelo raramente se llega a un pH inferior a 4 (muy ácido) o al pH 10 (demasiado alcalino). Los suelos agrícolas generalmente tienen un pH entre 6 y 7.5, rango en el que mejor se desarrolla las plantas.

El pH se refiere a la concentración de H^+ del complejo absorbente (retenidos en los coloides), es decir que da una medición parcial y no total; los suelos pueden tener el mismo pH pero pueden variar en su contenido total H^+ (I del complejo absorbente más el de la solución del suelo) en general en un suelo ácido a medida que aumenta su capacidad de cambio (capacidad de retener los cationes) es mayor su acidez total para un mismo pH de la solución, al disminuir el pH del suelo se frena al desarrollo de muchos microorganismos, disminuyendo las cantidades de elementos nutritivos, asimilables por las plantas y se incrementa de elementos tóxicos que las raíces absorben.

Para corregir la acidez total del suelo, es decir, para aumentar el pH de estos suelos ácidos se procede el “encalado” que es la adición de cal al suelo para sustituir los iones hidrógeno por los iones de calcio, tanto en la solución como en el complejo como un suelo arcilloso tiene, por las características de sus coloides, una mayor capacidad de cambio, necesita que se le añada más calcio que si fuera un suelo arenoso posee una capacidad de cambio menor.

BIBLIOGRAFÍA

1. Airmedien, P. 1988. **La controversia del ozono**. Mundo Científico. N° 79 442-454.
2. Babor, J.A, y J. Ibarz Aznarez. 1963. **Química General Moderna**. Marín, Barcelona. 1144 p.
3. Bornemisza, E. 1982. **Introducción a la Química de Suelos**. O.E.A., Washington. 74 p.
4. Brown, P.H., R.M. Welch y E. E. Cary. 1987. **Nickel: A micronutrient essential for higher plants**. Plant Physiology. 85: 801-803.
5. Buckman, H.O y N.C. Brady. 1977. **Naturaleza y Propiedades de los Suelos**. Montaner y Simón, S.A., Barcelona. 590 p.
6. Cabrera, G y H. Verde. 1989. **Cultivo casero del berro**. Agronomía al día. Año 2 N° 3: 18.
7. Chapman, H.D. 1955. **Diagnostic criteria for plants and soils**. University of California, Division of Agricultural Sciences, California. 793 p.
8. Clarkson, D.T. y J.B. Hanson. 1980. **The mineral nutrition of higher plants**. Ann. Rev. Plant Physiol. 31:239-298.
9. Deysson, Guy. 1966. **Physiologie et Biologie des plantes vasculaires**. Premiere Partie: Nutrition et Metabolisme. SEDES, París. 289 p.
10. Eskew, D. L, R.M. Welch, and W. A. Norvell. 1984. **Nickel in higher plants. Further evidence for an essential role**. Plant Physiol. 76: 691-693.
11. Fassbender, H.W. y E. Bornemisza. 1987. **Química de Suelos**. I.I.C.A., Costa Rica. 420 p.
12. Foy, C.D.; R.L. Chaney y M.C. White. 1978. **The Physiology of Metal Toxicity in Plants**. Ann. Rev. Plant Physiol. 29:511-556.
13. Gil Martínez, F. 1994. **Elemento de Fisiología Vegetal**. Mundi Prensa, Madrid. 1147 p.
14. Hernández-Gil, R. **Deficiencia de boro en una Plantación de Pinus radiata y Pinus oocarpa situada en el vergel-Mérida**. XXVIII Convención anual de ASOVAC, Maracay 12-17 de noviembre de 1978.
15. Hernández Gil, R. y C. Lombardo C. 1987. **Deficiencias de macronutrientes en Pinus caribaea var. Hondurensis Morelet**. Barr. y Golf. Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida. 109 p.
16. Hernández Gil, R. 1989. **Nutrición Mineral**. Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida 81p.
17. Heppler, P.K. y R.O. Wayne. 1985. **Calcium and plant development**. Ann. Rev. Plant Physiol. 36:397-439.
18. Kramer, P. J. y T.T. Kozlowski. 1979. **Physiology of woody Plants**. Academic Press, New York. 81p.
19. Lambert, G. 1987. **El dióxido de carbono en la atmósfera**. Mundo Científico. N° 72: 848-857.
20. Larcher, W. 1995. **Physiological Plant Ecology**. Springer Verlag, Berlin. 506 p.
21. Levitt, J. 1974. **Introduction to plant physiology**. The C.V. Mosby Co., Saint Louis. 447 p.
22. Noggle, R.G. y G.J. Fritz. 1976. **Introductory Plant Physiology**. Prentice-Hall, New Jersey. 688 p.
23. Patra, M y A. Scharma. 2000. **Mercury toxicity in plants**. The Botanical Review 66(3):379-422.

- 24.Price, C.A. 1970. **Molecular approaches to plant physiology**. Mc Graw-Hill, New York. 398 p.
 - 25.Raven, H. y H. Curtis. 1975. **Biología Vegetal**. Ediciones Omega, S.A., Barcelona. 716 p.
 - 26.Ruhland, N. 1958. **Encyclopedia of Plant Physiology**. Vol. IV. Mineral Nutrition of Plants. Springer Verlag, Berlin. 1210 p.
 - 27.Rusell, E. W. 1973. **Soil Conditions and Plant Growth**. Longman, London. 849 p.
 - 28.Salisbury, F.B. y C. W. Ross. 1992. **Plant Physiology**. Wadsworth Publishing. Co., California. 682 p.
 - 29.Sillanpaa, M. 1972. **Los oligoelementos en los suelos y en la agricultura**. FAO, Roma. 71 p.
 - 30.Sitte, P; M. Ziegler; F. Ehrendorfer y A. Bresinsky. 1994. Stasburger. **Tratado de botánica**. Omega, Barcelona 1068 p.
 - 31.Smith, S.E. y V. Gianinnazzi-Parson. 1988. **Physiological interactions between symbionts in vesicular-arbuscular mycorrizal plants**. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 39:201-244.
 - 32.Steward, F.C. 1963. **Plant Physiology. Vol. III: Inorganic nutrition of plants**. Academic Press, New York. 811 p.
 - 33.The New Encyclopaedia Britannica. 1980. **Encyclopaedia Britannica**, Inc., Chicago. 30 volumenenes.
 - 34.Ting, I.P. 1982. **Plant Physiology**. Addison-Wesley, California. 642 p.
 - 35.Trewavas, A.J. Ed. 1986. **Molecular and cellular aspects of calcium in plant development**. Plenum Press, New York. 452 p.
 - 36.Turner, J. y M. Lambert. 1986. **Nutrition and Nutritional relationships of Pinus radiata**. Ann. Rev. Ecol. Syst. 17:325-350.
 - 37.Walker, D. C, R. D. Graham, J. T. Madison, E. E. Cary, and R. M. Welch.1985. **Effects of Ni deficiency on some nitrogen metabolites in cowpeas** (Vigna unguiculata L. Walp).Plant Physiol. 79: 474-479.
 - 38.White, A; P. Handler y E.L. Smith. 1959. **Principles of biochemistry**. Mc Graw Hill, New York. 1106 p.
- Bertsch F., Ramírez F. 1997. Metodologías para afinar los programas de fertilización de los cultivos por medio del uso de curvas de absorción de nutrimentos. En: Memoria Jornadas de Investigación. Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigación. 183 p.

Briceño J., Arias O. 1992. Desarrollo del cafeto (*Coffea arabica*). I. Crecimiento vegetativo y reproductivo de tres cultivares. *Agronomía Costarricense* 16(1):125-130.

Carvajal F. 1984. Cafeto: cultivo y fertilización. Segunda Edición. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. 253 p.

Díaz-Romeu R.; Hunter A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 61 p.

León J; Fournier L. 1962. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L. Turrialba 12: 65-74.

Rojas O. 1987. Zonificación Agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. IICA, Serie Publicaciones Misceláneas No. A1/OCR-87-007. San José, Costa Rica, 83 p.

Segura A. 1992a. Estudio comparativo del crecimiento vegetativo de dos cultivares de café. En: Informe anual de labores 1991-1992. Convenio ICAFE-MAG. Heredia, Costa Rica. 363 p.

Segura A. 1992b. Estudio fenológico del café. En: Informe anual de labores 1991-1992. Convenio ICAFE-MAG. Heredia, Costa Rica. 363 p.

Segura A. 1992c. Estudio del crecimiento del fruto de café. En: Informe anual de labores 1991- 1992. Convenio ICAFE-MAG. Heredia, Costa Rica. 363 p.

Segura A. 1992d. Extracción de nutrientes por los frutos del café durante su desarrollo. En: Informe anual de labores 1991-1992. Convenio ICAFE-MAG. Heredia, Costa Rica. 363 p.

Valencia G. 1998. Manual de nutrición y fertilización del café. INPOFOS, Quito, Ecuador. 61p. Vicente-Chandler J. 1989. Coffee. In: Detecting Mineral Nutrient Deficiencies in Tropical and Temperate Crops. Ed. D.L. Plucknett and H.B. Sprague. Westview Press, U.S.A. 553 p.

i) TRANSPORTE DE NUTRIENTES MINERALES DE LA CORTEZA RADICAL HACIA EL XILEMA

El traslado Xilémico es de flujo regulado y depende de la diferencia de potencial de agua entre el suelo, la hoja y la atmósfera.

El traslado difiere entre iones distintos, por lo tanto, los nutrientes se dividen en tres grupos (Bukovac y Wittwer, 1957):

- Móviles
- Parcialmente móviles
- Inmóviles

Tabla 1

Movilidad	Nutrientes de las plantas				
Móvil	N	P	K	S	Cl
Parcialmente móvil	Zn	Cu	Mn	Fe	Mo
Inmóvil	Ca	Mg			

(Bukovac y Wittwer, 1957; Kunnan, 1980)

j) DISTRIBUCION DE LOS NUTRIENTES EN DISTINTOS ÓRGANOS DE LA PLANTA.

Las plantas requieren del suministro de agua disponible en el suelo

El agua es necesaria en todos los procesos fisiológicos de la planta:-

Fotosíntesis.-Mantenimiento celular.-Transpiración y control de temperatura.-Absorción de sales minerales.

Teoría de cohesión-tensión: explica la distribución del agua en toda la planta. La **teoría de la cohesión-tensión** es una teoría de la atracción intermolecular comúnmente observadas en el proceso en que el agua viaja hacia arriba (en contra de la fuerza de gravedad) a través del xilema de las plantas, fue propuesta por John Joly y Horatio Henry Dixon. A pesar de numerosas objeciones esta es la teoría más ampliamente aceptada para el transporte de agua a través del sistema vascular de las plantas, sobre la base de la investigación clásica de Dixon-Joly (1894),¹ Askenasy (1895) y Dixon (1914, 1924).^{2 3 4}

El agua es una molécula polar. Cuando dos moléculas de agua se aproximan entre sí forman un enlace de hidrógeno. El átomo de oxígeno cargado negativamente de una molécula de agua forma un enlace de hidrógeno con un átomo de hidrógeno cargado positivamente. Esta fuerza de atracción junto con otras fuerzas intermoleculares son los principales factores responsables de la

aparición de tensión superficial en el agua líquida. También permite a las plantas extraer agua de la raíz a través del xilema a las hojas.

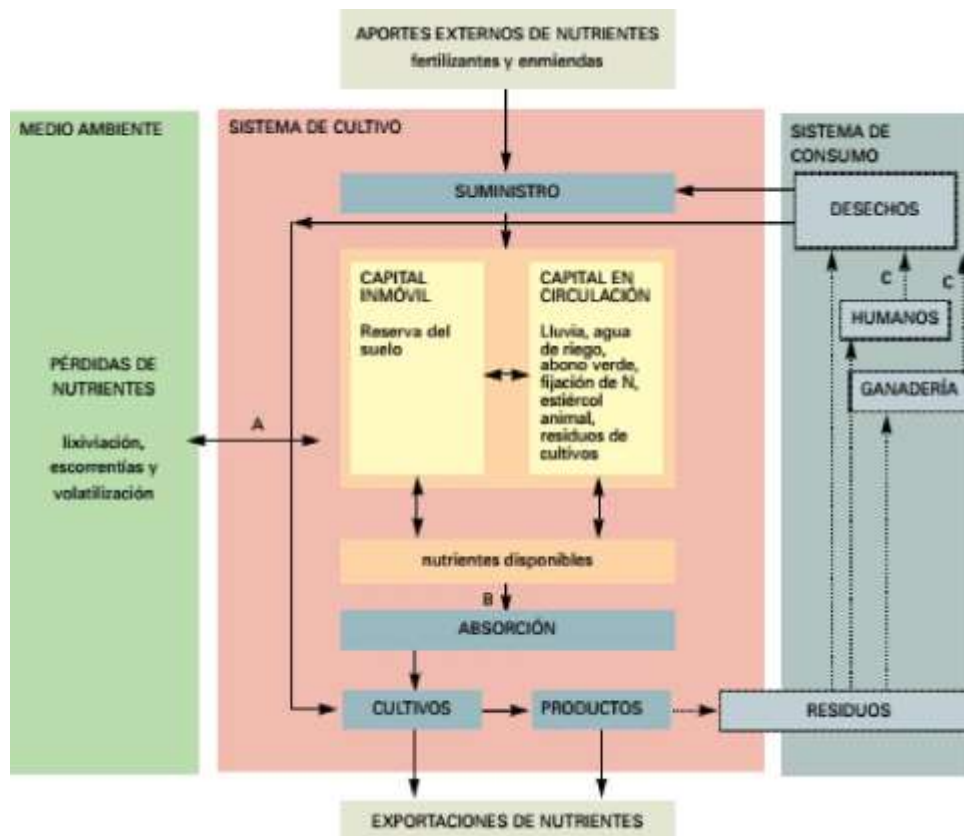
El agua se pierde constantemente por la transpiración en las hojas. Cuando una molécula de agua se pierde otra es arrastrado por los procesos de cohesión y adhesión. La transpiración utilizando la acción capilar y la tensión superficial inherente del agua, es el principal mecanismo de movimiento del agua en las plantas. Sin embargo no es el único mecanismo implicado. Cualquier uso de agua en las hojas obliga al agua a pasar a ellos.

Teoría de translocación: explica la distribución de nutrientes en la planta. Procesos de transporte en las plantas Una planta necesita mucha más agua que un animal de peso comparable. Esto se debe a que la casi totalidad del agua que entra en las raíces de una planta en crecimiento es liberada al aire como vapor de agua y sólo una pequeña proporción es realmente utilizada por las células vegetales. La pérdida de vapor de agua por las plantas se denomina transpiración.

Como consecuencia de la transpiración, las plantas requieren de grandes cantidades de agua. Junto con la corriente de transpiración son incorporados elementos esenciales de origen mineral desde el suelo al interior de las células de las raíces.

Además de agua y minerales, **las células de una planta también necesitan esqueletos carbonados, los cuales constituyen su fuente de energía.** El movimiento de los compuestos orgánicos desde las partes fotosintéticas de las plantas es conocido como translocación. Los elementos minerales que necesitan las plantas son absorbidos por las raíces de la solución que las rodea y son transportados desde éstas hacia el vástago en la corriente transpiratoria.

MÉTODOS EMPLEADOS PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE NUTRICIÓN.



ABSORCION DE LOS NUTRIENTES INORGANICOS POR LA RAZ

La absorción de iones inorgánicos tiene lugar a través de la epidermis de la raíz. El camino principal que siguen los iones desde la epidermis de la raíz a la endodermis es **simplástico**. El movimiento radial de los iones continúa en el simplasto cortical, de protoplasto a protoplasto, vía plasmodesmos a través de la endodermis y se incorporan a las células del parénquima del cilindro vascular. Desde las células del parénquima cortical, los iones son secretados al xilema (vasos o traqueidas) por un mecanismo de transporte activo mediado por transportadores.

ABSORCION DE LOS NUTRIENTES

Las plantas suelen absorber los nutrientes por las raíces, aunque también pueden absorber alguna cantidad a través de las hojas si se aplican en solución (fertilización foliar). Los nutrientes entran a la planta en forma de iones, partículas ultramicroscópicas que llevan cargas eléctricas. Cuando los iones tienen cargas eléctricas positivas se llaman cationes; calcio (Ca^{++}), potasio (K^{+}), amonio (NH_4^{+}), magnesio (Mg^{++}). Los iones con cargas

eléctricas negativas se llaman aniones e incluyen; fosfato ($H_2PO_4^-$ o HPO_4^{2-}), el nitrato (NO_3^-) o el sulfato (SO_4^{2-})

La mayor parte de la absorción de agua se produce cerca de los meristemos apicales de las raíces, en los pelos radicales, sin embargo, los nutrientes entran a la planta en una zona entre la región meristemática y la zona de pelos radicales. Esta zona se caracteriza por una incipiente diferenciación celular donde aún no está plenamente diferenciada la endodermis.

TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE LOS NUTRIENTES.

Cuando los iones inorgánicos son secretados en el interior de los vasos de xilema radical, son rápidamente conducidos hacia arriba y por toda la planta gracias a la corriente de transpiración. Algunos iones se mueven lateralmente desde el xilema hacia los tejidos circundantes de las raíces y de los tallos, mientras que otros son transportados hacia las hojas. Una vez alcanzadas las hojas los iones pueden seguir tres caminos:

- (1) son transportados con el agua en el apoplasto de la hoja;
- (2) pueden permanecer en el agua de transpiración y llegar a los lugares principales de pérdida de agua, los estomas y células epidérmicas; y
- (3) La mayoría de los iones entran en los protoplastos de las células de la hoja, probablemente por mecanismos en los que está implicado el transporte activo, y moverse vía simplástica a otras partes de la hoja, incluyendo el floema.

Los iones inorgánicos, en pequeñas cantidades, también se pueden absorber a través de las hojas, posibilidad que se utiliza en la **fertilización foliar** y que consiste en la aplicación directa de micronutrientes al follaje.

Fundamental en las plantas epífitas.

Permite que las plantas absorban diversas sustancias que, aplicadas en las partes aéreas de las mismas, actuarán como fertilizantes, herbicidas, etc

Cantidades importantes de los iones inorgánicos que son importados por las hojas a través del xilema, son posteriormente intercambiados con el floema en los nervios foliares, y exportados, junto con la sacarosa, en la corriente de fotoasimilados. Cuando los nutrientes se dirigen hacia las raíces vía floema, pueden reciclarse; es decir pueden intercambiarse con el xilema. Pero sólo aquellos iones que pueden moverse en el floema, a los que se llama floema-móviles, se pueden exportar en cantidades significativas desde las hojas.

El **N**, el **P**, el **K**, y el **Mg** son típicamente **móviles** y pueden ser transportados con relativa facilidad a otros órganos, mientras que el **Ca**, el **S** y el **Fe** son más o menos **inmóviles** y tienden a permanecer en el primer destino alcanzado hasta la muerte de ese órgano.

TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE LOS NUTRIENTES.

Las sales inorgánicas absorbidas por la raíz en forma de aniones y cationes, son transportadas por el xilema en forma ascendente junto con el agua. En esta corriente ascendente del xilema también se produce una difusión lateral de los nutrientes hacia el floema, que transporta sustancias orgánicas. Cuando los nutrientes llegan a las células de las hojas se combinan con las sustancias orgánicas y se mueven hacia arriba y hacia abajo, a los distintos órganos de la planta a través del floema.

Algunos iones como el fósforo, el azufre y el nitrógeno pueden combinarse en la raíz con sustancias orgánicas ingresando directamente a los conductos floemáticos.

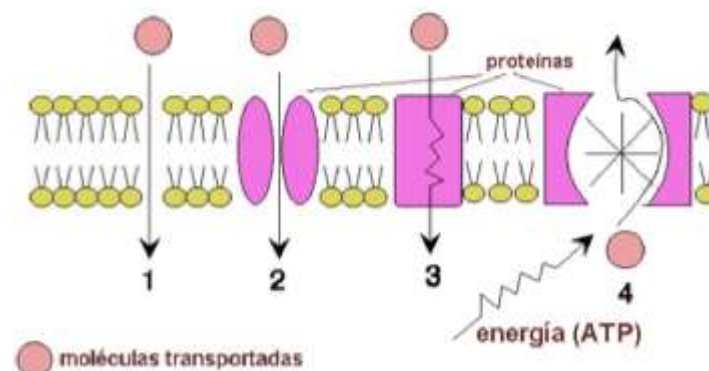
La bicapa lipídica de la membrana actúa como una barrera que separa dos medios acuosos, el medio donde vive la célula y el medio interno celular. Las células requieren nutrientes del exterior y deben eliminar sustancias de desecho procedentes del metabolismo y mantener su medio interno estable. La membrana presenta una permeabilidad selectiva, ya que permite el paso de pequeñas moléculas, siempre que sean lipófilas, pero regula el paso de moléculas no lipófilas.

El paso a través de la membrana posee dos modalidades: Una pasiva, sin gasto de energía, y otra activa, con consumo de energía.

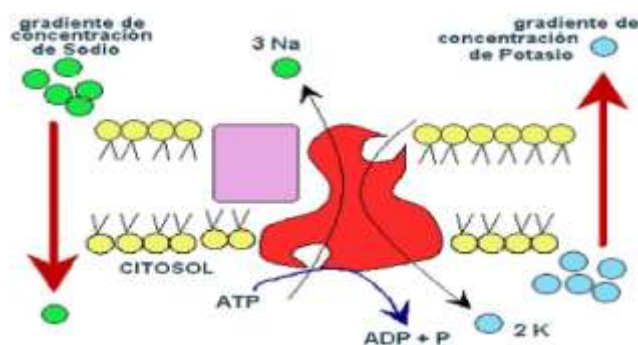
El transporte pasivo. Es un proceso de difusión de sustancias a través de la membrana. Se produce siempre a favor del gradiente, es decir, de donde hay más hacia el medio donde hay menos. Este transporte puede darse por:

Difusión simple a través de la bicapa (1). Así entran moléculas lipídicas como las hormonas esteroideas, anestésicos como el éter y fármacos liposolubles. Y sustancias apolares como el oxígeno y el nitrógeno atmosférico. Algunas moléculas polares de muy pequeño tamaño, como el agua, el CO₂, el etanol y la glicerina, también atraviesan la membrana por difusión simple. La difusión del agua recibe el nombre de ósmosis.

Difusión simple a través de canales (2). Se realiza mediante las denominadas proteínas de canal. Así entran iones como el Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻. Las proteínas de canal son proteínas con un orificio o canal interno, cuya apertura está regulada, por ejemplo por ligando (cofactores), como ocurre con neurotransmisores u hormonas, que se unen a una determinada región, el receptor de la proteína de canal, que sufre una transformación estructural que induce la apertura del canal.



Difusión facilitada (3). Permite el transporte de pequeñas moléculas polares, como los aminoácidos, monosacáridos, etc, que al no poder, que al no poder atravesar la bicapa lipídica, requieren que proteínas transmembranas faciliten su paso. Estas proteínas reciben el nombre de proteínas transportadoras o permeasas que, al unirse a la molécula a transportar sufren un cambio en su estructura que arrastra a dicha molécula hacia el interior de la célula. El transporte activo (4). En este proceso también actúan proteínas de membrana, pero éstas requieren energía, en forma de ATP, para transportar las moléculas al otro lado de la membrana. Se produce cuando el transporte se realiza en contra del gradiente electroquímico. Son ejemplos de transporte activo la bomba de Na/K, y la bomba de Ca. La bomba de Na⁺/K⁺ Requiere una proteína transmembrana que bombea Na⁺ hacia el exterior de la membrana y K⁺ hacia el interior. Esta proteína actúa contra el gradiente gracias a su actividad como ATP-asa, ya que rompe el ATP para obtener la energía necesaria para el transporte.



Por este mecanismo, se bombea 3 Na⁺ hacia el exterior y 2 K⁺ hacia el interior, con la hidrólisis acoplada de ATP. El transporte activo de Na⁺ y K⁺ tiene una gran importancia fisiológica. De hecho todas las células animales gastan más del 30% del ATP que producen (y las células nerviosas más del 70%) para bombear estos iones.

La práctica de agregar elementos minerales al suelo para mejorar el crecimiento de las plantas se ha llevado a cabo desde hace más de 2000 años. Desde el siglo pasado Justus von Liebig (1803-1873) demostró la importancia de los elementos minerales para el crecimiento vegetal y a partir de sus trabajos, la nutrición mineral fue considerada como una disciplina científica. De esta manera, a finales del siglo XIX, sobre todo en Europa, grandes cantidades de potasio, superfosfato y nitrógeno inorgánico fueron usados en la agricultura para mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

El contenido mineral de las plantas está afectado por factores externos y su composición porcentual en los cultivos varía considerablemente. Los datos de composición de las plantas (figura 1) han sido a veces erróneamente empleados para formular los programas de fertilización, siguiendo la idea de que las cantidades de elementos extraídos por los cultivos deben ser las cantidades remplazadas por los fertilizantes. Esta aproximación ignora factores tan importantes como las pérdidas por lavado, la fijación en el suelo en formas no asimilables de ciertos elementos, eficiencia de varias plantas en la absorción de ciertos elementos, y otros muchos.