

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Factores que limitan la disponibilidad de los nutrientes en el suelo para las plantas en Venezuela

Factors that limit the availability of nutrients in the soil for plants in Venezuela

Ricardo Ramírez

*Postgrado de Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela, Apdo. 4563. Maracay, 2103. Venezuela
Investigador V INIA, CENIAP, (J) Maracay, 2101. Venezuela

RESUMEN

La productividad agrícola está asociada a la disponibilidad de nutrientes en el suelo para las plantas y a su capacidad de asimilación. Los sistemas de producción agrícola dependen de la oferta de nutrientes del suelo, pero esta es muy variable. En el país, hay cinco factores que limitan la disponibilidad de nutrientes y su asimilación por los cultivos: déficit de agua, déficit de oxígeno, compactación del suelo, aplicación de fertilizantes y acidez del suelo. El objetivo de este trabajo es mostrar cómo afectan estas condiciones a la disponibilidad de nutrientes en el suelo para las plantas. La correcta aplicación de los fertilizantes y la adecuación de la acidez del suelo dependen de la capacidad del agricultor para aplicar correctamente la tecnología disponible, pero no siempre es así. La adopción de técnicas de manejo de los sistemas de producción que hagan un menor uso de la maquinaria pesada en el campo, junto con el uso de coberturas y residuos de cosecha, mejora la compactación de los suelos y la disponibilidad de agua y nutrientes.

Palabras clave: Acidez, compactación, déficit de agua, déficit de oxígeno, manejo de los fertilizantes.

ABSTRACT

Agricultural productivity is linked to the availability of nutrients in the soil for plants and their capacity to assimilate them. Agricultural production systems depend on the supply of nutrients in the soil, but this is highly variable. In the country, there are five factors that limit nutrient availability and their assimilation by crops: water deficit, oxygen deficit, soil compaction, fertilizer application, and soil acidity. The objective of this study is to show how these conditions affect the availability of nutrients in the soil for plants. The correct application of fertilizers and the adjustment of soil acidity depend on the farmer capacity to correctly apply the available technology, but this is not always the case. The adoption of production systems and management techniques that make less use of heavy machinery in the field, together with the use of cover crops and crop residues, improves soil compaction, water and nutrients availability.

Key words: soil acidity, soil compaction, water deficit, oxygen deficit, fertilizer management.

Autor de correspondencia: Ricardo Ramírez
E-mail: abisam28@gmail.com; Telf: +525617518070
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2237-337X>

Recepción: 11-10-2025
Aceptado: 16-12-2025
Publicado: enero, 2026
<https://doi.org/10.63327/RFA/2025.51.2.04>

Esta Revista se publica bajo el auspicio del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, UCV

INTRODUCCION

La seguridad alimentaria de una comunidad depende de su capacidad para producir suficientes alimentos para autoabastecerse en el tiempo, teniendo en cuenta la necesidad de usar los insumos para la producción agrícola siguiendo el criterio de conservación del medio ambiente (Pérez *et al.*, 2018).

La eficiencia para la producción de alimentos, en cantidad y de calidad suficientes, depende de la capacidad de manejar en forma eficiente los sistemas de producción agrícola y de los factores ambientales donde se desarrolla el sistema de producción, Harwood (2020), señala que para lograr una agricultura de altos rendimientos y sostenible en el tiempo es necesario aplicar tecnologías que garanticen una mayor eficiencia de los recursos usados en armonía con la conservación del medio ambiente.

Los sistemas de producción agrícola son en parte controlables por el productor, en lo referente al manejo de los suelos, fertilizantes, control de plagas y enfermedades y de agua en los sistemas de producción bajo riego. Los factores ambientales, que afectan la producción agrícola, no son controlados por el hombre y se refieren a problemas de exceso de agua, déficit de agua o sequía, compactación y acidez de los suelos, entre otros. Todos estos factores tienen una alta influencia sobre la disponibilidad de los nutrientes en el suelo para la planta. Las raíces son las que toman el agua y nutrientes del suelo, cualquier factor que pueda restringir el desarrollo radical limita al mismo tiempo la capacidad de absorción de los nutrientes y agua disponibles en el suelo.

Las condiciones de medio ambiente donde se desarrollan los sistemas de producción agrícola en el país son variables, en relación con la disponibilidad de agua y de recurso suelo. Las principales limitantes, para la producción agrícola son: déficit de agua, exceso de agua, compactación, acidez de los suelos y disponibilidad de nutrientes. La comprensión de cómo estos factores pueden ocasionar deficiencias nutricionales en los cultivos permitirá obtener altos rendimientos, evitando el uso excesivo de fertilizantes.

El objetivo de este trabajo fue mostrar cómo afectan, las limitantes señaladas, la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y su uso por las plantas.

Déficit de agua en el suelo

El agua es el componente más importante, en el suelo, para la producción de cosechas abundantes, el déficit de agua afecta negativamente la producción de los cultivos en cualquier sistema de producción.

En algunas regiones del país, en especial en los llanos centrales, la ocurrencia de períodos de sequía es frecuente, es conocido que el déficit de agua es el factor abiótico que tiene un alto impacto negativo sobre el rendimiento y productividad de los cultivos en el mundo (Valliyodan y Nguyen, 2006). La respuesta de la planta al déficit de agua depende de la severidad y duración de la sequía y del estadio de desarrollo de ella (Levit, 1980), se ha señalado que las especies y sus genotipos tienen diferente capacidad para absorber nutrientes en condiciones de déficit de agua (Garg, 2003).

El movimiento de los nutrientes en la interfase suelo-raíz depende de la disponibilidad de agua en el suelo (Taiz y Zeiger, 2006), los nutrientes, en el suelo, se mueven por difusión en el agua o con la masa de agua para alanzar la superficie radical y ser absorbidos por la planta (Barber, 1984), el déficit de agua impide el buen desempeño del movimiento iónico, así como la absorción de nutrientes y su distribución en la planta.

Un efecto de la sequía es la deficiencia de nutrientes en la planta, aún en campos fertilizados, debido a que su movilidad en el suelo y su absorción por la planta es alterada (Rouphael *et al.*, 2012). Bajo condiciones de estrés por sequía la actividad radical se reduce, así como el movimiento iónico hacia la superficie radical, dando como resultado una disminución de la disponibilidad de los nutrientes en el suelo y también de la capacidad de absorción de estos por las raíces (Dubey y Pessrakli, 2011; Hue *et al.*, 2007).

El agua en el suelo es el factor más importante para producir cosechas abundantes, posiblemente su déficit es el factor que afecta más la productividad de los cultivos, debido a que el estrés por sequía inhibe la fotosíntesis por el cierre de los estomas de la planta y además del daño de la clorofila, que resulta en el menoscabo del aparato fotosintético de la planta (Li *et al.*, 2021).

La concentración de N y P en la planta decrece por efecto de la sequía y es más reducida que el desarrollo de la planta, debido a que decrece la tasa de absorción de nutrientes en forma independiente de la absorción de agua (Bista *et al.*, 2018; Rouphael *et al.*, 2012). Actualmente es aceptado que bajo condiciones severas de estrés por sequía si el nutriente está presente en el suelo, en suficiente cantidad, el incremento de éste en el suelo no mejora el desarrollo de la planta.

El impacto de la sequía sobre un cultivo depende de su intensidad y duración, así como también del período del ciclo de desarrollo del cultivo (Bradford y Hsiao, 1982). El síntoma más claro en la planta como respuesta al estrés por sequía es la disminución del crecimiento de esta, como consecuencia del bajo nivel de absorción de agua por las raíces que da lugar a una reducción de la expansión de la lámina foliar que reduce la apertura de las estomas dando lugar a una menor capacidad de asimilación del carbono por medio de la fotosíntesis (Cristophe *et al.*, 2011; Bradford y Hsiao, 1982).

El estrés por déficit de agua en el suelo puede dar lugar a deficiencias de nutrientes en la planta, aún en suelos bien fertilizados, debido a que la actividad radical y los procesos de difusión y movimiento de los nutrientes en la masa de agua, para alcanzar las superficies radicales, dependen de la presencia de agua, dando lugar a una baja disponibilidad de nutrientes en el suelo y baja tasa de absorción de estos por las raíces (Rouphael *et al.*, 2012; Hue *et al.*, 2007; Singh B. y G. Singh. 2004).

Las especies vegetales y genotipos de las especies difieren en su capacidad de absorción de nutrientes en condiciones de sequía (Garg, 2003). Ge *et al.* (2012), trabajando con maíz encontraron que el estrés por sequía produjo un decrecimiento agudo del P y K absorbidos por la planta en diferentes estadios de desarrollo, que fue atribuido a un efecto negativo sobre la capacidad de absorción de las raíces. Gunes *et al.* (2006), mostraron que los materiales genéticos de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) tolerantes a la sequía eran capaces de acumular más N, P, K, Ca, Zn, Mn y B que los materiales no tolerantes.

El ajonjolí se cultiva en el estado Portuguesa con la humedad residual en el suelo, después de

la cosecha del maíz, Finol (2001), encontró que el déficit de agua afecta el desarrollo de la planta, disminuyendo su altura, el crecimiento vertical de la raíz, el grado de expansión foliar y finalmente retardo de inicio de la floración y el decrecimiento de la producción de semilla.

Déficit de oxígeno en el suelo

La magnitud de las tierras con mal drenaje, en el mundo, ha sido estimada en aproximadamente en 11,3% (Wood *et al.*, 2002). En Venezuela, Comerma y Paredes (1978), señalaron que aproximadamente el 34% de las tierras estaban afectadas por el mal drenaje. En estos suelos el nivel de oxígeno es bajo, debido a que el agua reemplaza el aire en los espacios porosos, produciéndose una disminución del oxígeno disponible el cual es consumido rápidamente por el proceso de respiración de las raíces y por la actividad microbiana (Koppitz *et al.*, 2004). El déficit de oxígeno da lugar a formas reducidas y menos solubles de N, P, Mn, Fe y S, afectando su disponibilidad para los cultivos (Taiz y Zeiger, 2006; Unger *et al.*, 2009). Los poros en los suelos están en dos condiciones: llenos de agua o de aire, las cuales están altamente correlacionados con la capacidad de producción de la planta (Hillel, 1980; Dasberg y Bakker, 1970).

La baja concentración de oxígeno en los suelos puede dar lugar a un incremento de la solubilidad del carbonato de calcio, con el consiguiente efecto sobre la solubilidad del hierro y su disponibilidad que puede producir síntomas de deficiencia de este nutriente en los cultivos (Schjonning *et al.*, 2000; Neale *et al.*, 2000). El manganeso es también reducido, en condiciones de déficit de oxígeno en el suelo, dando lugar a la acumulación de esta forma reducida que genera condiciones favorables para el desarrollo de toxicidad en las plantas (Taylor y Ashcroft, 1972).

El déficit de oxígeno afecta también la descomposición de la materia orgánica en el suelo, esta condición favorece la formación de nitrógeno amoniacal en lugar de formar nitratos, como es el caso en los suelos bien aireados (Lal y Shukla, 2004).

El transporte de oxígeno en el suelo es principalmente por difusión y está influenciado por las características físicas del suelo como la textura, estructura, porosidad, contenido de agua y materia

orgánica, esta última actúa positivamente en el incremento de la estabilidad de los agregados y distribución de los poros en el suelo (Neira *et al.*, 2015). Las raíces necesitan de oxígeno para la respiración aeróbica, el déficit de oxígeno limita esta función y las raíces se tornan menos permeables dando lugar a una menor tasa de absorción de agua y nutrientes. En los suelos inundados la causa del pobre desarrollo de las plantas ha sido atribuido principalmente a la deficiencia de nutrientes y no a problemas de toxicidad (Steffens *et al.*, 2005).

El déficit de oxígeno por inundación impuesto a 5 variedades de maíz por 4 y 72 horas cuando las plantas alcanzaron la altura de la rodilla y en la etapa de floración, causó un retardo en el crecimiento de ellas, excepto en una variedad (Ganges 2). El mayor tiempo de inundación redujo la absorción de N y K, pero incremento la de P en todas las variedades. El déficit de oxígeno temprano cuando el maíz tenía la altura de la rodilla mostró afectar más el crecimiento y absorción de nutrientes en el maíz que el tratamiento impuesto en la época de floración (Sinh y Ghildyal, 1980). La inundación temprana en el maíz, séptima hoja visible (Lizaso *et al.*, 2001a, 2001b), redujo la formación de biomasa en dos variedades tropicales en 20 y 50%, la variedad tolerante a la inundación acumuló mayor proporción de biomasa en las raíces que la no tolerante y el área foliar se redujo en un 40% en ambas variedades. La concentración de macronutrientes en el tallo se redujo. El Ca y Mg en las raíces fue afectada pero no el K. La tolerancia del maíz a la inundación fue asociada con la respiración radical y una cantidad abundante de aerénquima en las raíces (Lizaso *et al.*, 2001b).

Compactación de los suelos

La compactación de los suelos limita la capacidad de penetración de las raíces reduciendo el volumen de suelo, agua y nutrientes que podrían acceder. La compactación, natural o antropogénica, de los suelos, da lugar a que se produzca un impedimento en el suelo para el crecimiento y distribución de las raíces, la absorción de nutrientes y por consiguiente un menor desarrollo y producción de los cultivos (Unger y Kaspar, 1994).

La compactación del suelo altera la estructura, incrementa la densidad aparente y decrece la porosidad,

lo que conduce a una reducción de la permeabilidad del suelo al agua y aire que pueden alterar el patrón de desarrollo de las raíces y una reducción en la absorción de nutrientes del suelo (Batey y McKenzie, 2006). La compactación y sellado superficial de los suelos restringe el movimiento vertical del agua, dando lugar al déficit de oxígeno y, por consiguiente, al desarrollo limitado de los cultivos y a la reducción de los rendimientos (Parlak y Parlak, 2011). Las principales barreras para el transporte de oxígeno en el suelo son la compactación y la saturación con agua, siendo el agua más efectiva como barrera (Papendick y Runles, 1965).

La compactación de los suelos se incrementa con el uso de maquinaria agrícola pesada, en especial en los suelos saturados con agua. Las plantas que se desarrollan en estas condiciones muestran una altura menor que la normal y una alta concentración de raíces cerca de su base, más que cuando crecen en suelos no compactados (Nidal, 2003).

La formación de barreras que impiden el crecimiento y penetración de las raíces en el suelo es favorecida por la compactación de los suelos que también afecta la absorción de nutrientes, la concentración de oxígeno, pero incrementa la concentración del anhídrido carbónico, lo que influye en forma negativa el desarrollo radical, la absorción de nutrientes y como consecuencia se producen cosechas con bajos rendimientos (Arvidson, 1999). Wang *et al.* (2019), mostraron que la compactación moderada daba lugar a un aumento de la acumulación de P, K, Ca y Mg en la planta de soya, pero que altos niveles de compactación impedían la acumulación de macro y micronutrientes. Otros autores señalan que valores altos de densidad aparente del suelo ocasionan una baja tasa de mineralización de la materia orgánica y una restricción de la absorción de N, P, K atribuido al poco desarrollo radical (Valcheski *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2012).

En los suelos compactados la densidad aparente se incrementa y la porosidad se reduce debido a que los poros grandes se comprimen y se incrementan los poros finos, estas condiciones dan lugar a una reducción de la capacidad de movimiento del agua y aire y una alta resistencia a la penetración y crecimiento de las raíces y por consiguiente al decrecimiento de la absorción de nutrientes por la planta (Wolknowski, 1990; Parlak y Parlak, 2011; Ahmad *et al.*, 2009).

El incremento de la densidad de los suelos esta relacionando con el bajo desarrollo radical y a una baja tasa de mineralización de la materia orgánica, ambos factores afectaron negativamente la acumulación de N, P y K en la planta de soya (Valichski *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2012).

La capacidad de las plantas para obtener agua y nutrientes del suelo está relacionada con el desarrollo adecuado de un sistema radical extenso, la compactación del suelo limita el crecimiento de las raíces y el acceso de ellas al agua del subsuelo y de los nutrientes, los cambios en la densidad aparente de los suelos afectan también la resistencia a la penetración de las raíces y su crecimiento, así como el movimiento del agua, oxígeno y anhídrido carbónico que afectan el crecimiento radical (Olubango y Yessoufou, 2019; Grzesiak *et al.*, 2013; Jourholami *et al.*, 2016).

El incremento de la densidad aparente del suelo dio lugar a un menor crecimiento del longitud y superficie radicales de cuatro especies forrajeras y un significativo deterioro de la producción de materia seca de las raíces y del follaje, así como una disminución de la tasa de infiltración y movimiento del agua que inhibió la aireación del suelo con la disminución de la actividad microbiana (Parlak y Parlak, 2011). En general, las plantas mostraron unas cantidades menores de N, Ca, y Mg, pero mayores de P, Fe, Mn y Zn en la medida que la densidad aparente fue mayor. La compactación del suelo afectó las características del crecimiento radical de las plantas forrajeras probadas.

En los suelos con cultivos con hileras es frecuente encontrar una densa capa de suelo compactado por debajo la otra capa no compactada, suelo suelto, donde las raíces proliferan explorando solo una pequeña porción del suelo, con la consiguiente reducción de la absorción de agua y nutrientes por el cultivo, debido principalmente a la reducida distribución de las raíces y mayor distancia entre ellas, dando como resultado bajos rendimientos (Johansen *et al.*, 2015; Lipiec *et al.*, 2003).

La compactación del suelo está íntimamente relacionada con el incremento de la densidad aparente, alta resistencia a la penetración y reducción de la porosidad, todos estos factores afectan negativamente la aireación del suelo, produciendo déficit de oxígeno,

el crecimiento y exploración del suelo por las raíces se reduce y dan lugar a una menor tasa de absorción de agua y nutrientes que finalmente se traducen en bajos rendimientos de los cultivos (Lindstron y VoorHess, 1994).

Aplicación de fertilizantes

Una agricultura sostenible de altos rendimientos solo es posible cuando se aplican correctamente las prácticas agrícolas requeridas, considerando la conservación del medio ambiente. El uso de fertilizantes es común en los sistemas de producción agrícola, esta práctica es eficiente cuando se aplican en forma correcta los nutrientes requeridos por la planta. Los cultivos reaccionan no solo a la cantidad de fertilizante usado, sino también, a la forma, época y profundidad de aplicación. La mejor estrategia de colocación del fertilizante es aquella que garantice el acceso de las raíces a los nutrientes en forma rápida y eficiente y con la presencia adecuada de agua.

La aplicación correcta de los fertilizantes al suelo respecto a las raíces y en el momento oportuno, maximizan la eficiencia de estos y, por consiguiente, la obtención de altos rendimientos. Grant *et al.* (2001), indicaron que el objetivo de localizar el fertilizante es lograr el máximo contacto entre éste y las raíces finas en una época temprana del desarrollo radical. Las raíces profundas son capaces de acceder los nutrientes móviles como nitratos y sulfatos, aun cuando sean colocados a poca profundidad en el suelo, siempre que exista suficiente agua para transportarlos, pero las raíces tienen poca capacidad para alcanzar a los nutrientes inmóviles como el fósforo cuando es aplicado superficialmente.

La aplicación al voleo del nitrógeno y fósforo no garantiza que una alta proporción de estos nutrientes estén disponibles para su absorción por las raíces en el tiempo y lugares requeridos. La colocación de los fertilizantes por debajo la superficie del suelo, cerca de las semillas o de las raíces de la planta, da lugar a una mayor absorción, mayor concentración de ellos en el follaje y producción de biomasa y rendimiento de los cultivos que la aplicación homogénea y al voleo de los fertilizantes (Nkewiwe *et al.*, 2016). La aplicación del N y/o P a los suelos al voleo no garantiza que la mayor proporción de estos nutrientes este en forma disponible para las raíces en el momento preciso para

su óptima absorción. Resultados similares fueron mostrados por Borges y Mallarino, (2000) y Yin y Vyn (2003), cuando colocaron el potasio en banda, más cerca al sistema radical, en comparación con la aplicación al voleo.

La aplicación tardía, post siembra de los fertilizantes, no es una práctica aconsejable, pero es frecuente verlo en las siembras de maíz en Venezuela; Vera (2010), demostró en el estado Portuguesa, que la aplicación tardía del fertilizante correlacionó negativamente con los rendimientos en los años 2001 y 2002, lo que quiere decir que en la medida que se aplique el fertilizante tarde, después de la siembra, hay una disminución significativa de la cosecha, debido al efecto conocido como la nutrición temprana que tiene una alta influencia sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos (Grant *et al.*, 2001).

La eficiencia del potasio puede mejorarse localizándolo cerca del sistema radical donde además haya una alta probabilidad de ocurrencia de agua, facilitando el movimiento del ion potásico hacia las superficies radicales, este propósito logró Morales *et al.* (2007), colocando el potasio debajo las raíces de las plántulas de melón en el momento del trasplante.

La aplicación del fertilizante sin incorporar al suelo queda expuesto al lavado y escurrimiento por las aguas de lluvia o de riego, dando lugar a la contaminación de los cuerpos de agua que sufren el proceso de eutroficación. Casanova *et al.* (1989), mostraron que las pérdidas de N en el cultivo del sorgo estaban relacionadas con el tipo de labranza usado, en el caso de la labranza convencional las pérdidas de N por escurrimiento alcanzaron a 36,0 kg.ha⁻¹, pero cuando se usó la labranza mínima las pérdidas se redujeron a 4,70 kg.ha⁻¹, esto es 7,7 veces menor. Lobo (1990), encontró en el cultivo de sorgo sin residuos como cobertura del suelo, que las pérdidas de N fueron de 20 kg.ha⁻¹ en cambio en el sorgo con cobertura de residuos de cosecha en el del suelo, las pérdidas se redujeron a 3,0 kg.ha⁻¹, es decir 3 veces menos que el caso anterior. Estos resultados indican que la labranza mínima o el uso de residuos vegetales como cobertura de los suelos son prácticas que contribuyen a reducir las pérdidas del N aplicado superficialmente al suelo.

Acidez de los suelos

Los suelos ácidos en el país constituyen, aproximadamente, el 40% de las tierras (Comerma y Paredes 1978), lo que significa que este factor es la mayor limitante para la producción de buenas cosechas en nuestro medio.

La disponibilidad de los nutrientes en el suelo depende, en parte, de la acidez o alcalinidad de la solución nutritiva del suelo. La acidez de los suelos genera el problema de toxicidad por Al y, además, baja disponibilidad de nutrientes e inhibición de la absorción de estos por las raíces (Malkanthi *et al.*, 1995). Cuando el pH de los suelos baja a 5 o menos se incrementa el Mn y Al disponibles, este último es tóxico para las raíces las cuales engruesan y son cortas limitando el acceso al agua y nutrientes en el suelo (Rhue y Grogan, 1977, Caires *et al.*, 2006) reduciéndose la absorción de agua y de nutrientes por la planta (Summer y Noble, 2013).

La actividad radical decrece cuando los valores de pH están por debajo de 5,0 al mismo tiempo que baja la disponibilidad del P, Mg, Ca y Mo. Los valores óptimos de pH para la disponibilidad de los nutrientes en la solución del suelo se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores óptimos de pH para disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Nutriente	pH
P	5,5 a 7,5
N, K, Ca, Mg, S, Mo	6,5 a 8,0
B, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn	5,0 a 7,0

Una práctica común y efectiva para reducir la acidez de los suelos es el encalado, en esta forma se mejora el pH de los suelos eliminando el problema de toxicidad de Al (Palma, 1983) y haciendo más disponibles los nutrientes como el Ca, K, Mg, P, B, y Mo lo que mejora la productividad de los cultivos. La germinación prematura de los granos de maíz en la mazorca en los suelos ácidos es debida a la deficiencia de Mo y puede corregirse elevando el nivel de pH del suelo mediante el encalado (Ramírez, 1995).

López y Silva (1989), desarrollaron un sistema experto que permite la aplicación y manejo de cal agrícola en los suelos ácidos, en función de los requerimientos del cultivo y suelo determinado, sin embargo, hay que señalar que el encalado se limita a una capa superficial de los suelos (Thakuria *et al.*, 2016).

Otra forma eficaz de evitar el efecto de la acidez de los suelos sobre el comportamiento de los cultivos es el mejoramiento genético para obtener cultivares tolerantes a la acidez y a la toxicidad de aluminio, Ramírez y López (2000), señalaron que los genotipos de sorgo tolerantes al aluminio pueden ser más eficientes en el uso del P de la roca fosfórica en suelos pobres en fósforo y altos en saturación con aluminio.

Las condiciones que limitan la disponibilidad de los nutrientes en el suelo son producto, muchas veces, de la mala aplicación de las técnicas de manejo de los suelos y de la aplicación de los fertilizantes, por consiguiente, algunos de ellos pueden ser mejorados por los agricultores usando técnicas de labranza y agrícolas en forma adecuada. El uso de labranzas que faciliten la conservación de los suelos y la aplicación oportuna en dosis adecuadas de nutrientes en el momento oportuno en forma correcta logrará la nutrición óptima de los cultivos y altos rendimientos.

Existe suficiente información sobre metodologías para mejorar o controlar las condiciones que limitan la disponibilidad y uso de los nutrientes en el suelo por los cultivos, el problema radica en cómo manejar o implementar en forma eficiente estos conocimientos. En el país se ha desarrollado suficiente conocimiento sobre cómo manejar la acidez de los suelos, esto es la dosificación y aplicación de encalado, sin embargo, falta información sobre la profundidad de aplicación, de la enmienda, de acuerdo con las características de desarrollo de las raíces de las diferentes especies que se cultivan en los suelos ácidos.

El uso y manejo de los fertilizantes debe ser cuidadosamente revisado. La dosificación de los nutrientes debe ser elaborada con base a la calibración de los métodos de análisis de suelos en experimentos de campo y su posterior mantenimiento, solo siguiendo esta técnica se podrá realizar recomendaciones de fertilizantes más cercanos a lo que requiere el suelo para nutrir la planta, de no seguir este criterio se corre el riesgo de realizar aplicaciones de fertilizantes

por debajo o muy encima lo requerido por el suelo, con la consecuencia de obtener cosechas pobres por debajo del potencial del sistema de producción. Otro aspecto que considerar es el relativo al manejo de los fertilizantes, donde y cuando se deben aplicar al suelo, posiblemente este aspecto es el más importante para lograr una disponibilidad de los nutrientes oportuna para el desarrollo y producción máxima de los cultivos. Es conocido que la nutrición temprana eficiente de un cultivo contribuye al buen rendimiento de este.

La disponibilidad de oxígeno en el suelo es consecuencia del mal drenaje del suelo, por consiguiente, la eliminación del exceso de agua es la solución al problema. La buena disponibilidad del agua en el suelo, en los cultivos de secano, depende régimen de lluvias en la localidad. El uso de materiales genéticos tolerantes al déficit de agua una la alternativa válida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arvidsson, J. 1999. Nutrient uptake and growth of barley as affected by soil compaction. *Plant and Soil*. 208: 9-19.
- Batey, D.; D.C. McKenzie. 2006. Soil Compaction: Identification directly in the field. *Soil Use and Management*. 22: 123-131.
- Barber, S.A. 1984. Soil Nutrient Biodisponibility. A Mechanistic Approach. Wiley Inter-Science Publications. John Wiley and Sons. New York.
- Singh, B.; G. Singh. 2004. Influence of soil water regime on nutrient mobility and uptake by *Dalbergia siseo* seedlings. *Tropical Ecology* 45: 337-340.
- Bista, D.R.; S.A. Heckathom; D.M. Jayawardene; S. Mishra; J.K. Bold. 2018. Effects of drought on nutrient uptake and the levels of nutrient uptake proteins in roots of drought sensitive and tolerant grasses. *Plants* 2018, 7(2), 28; <https://doi.org/10.3390/plants7020028>
- Borges, R.; A. Mallarino. 2000. Grain yield, early growth, and nutrient uptake of No-Till soybean as affected by phosphorus and potassium placement. *Agronomy J.* 92: 380-388.

- Bradford, K.J.; T.C. Hsiao. 1982. Physiological responses to moderate water stress. *In: Physiological Plant Ecology*. O.L. Lange; P.C. Nobel; C.B. Osmond; H. Ziegler; Eds. Springer, Berlin, Germany. Pp 64-34.
- Casanova, E.; M.L. Páez; O.S. Rodríguez. 1989. Pérdidas de nutrimentos por erosión bajo diferentes condiciones de manejo en dos suelos agrícolas. *Rev. Fac. Agronomía, Alcance 3 Erosión Hídrica Diagnóstico y Control*. 12 p.
- Caires, E. F.; L.J.C. Correa; S. Churca; G. Barth; F.J. Garbuio. 2006. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. *Scientia Agrícola*. 63: 502-509.
- Comerma, J.A.; R. Paredes. 1978. Principales limitantes y potencial agrícola de las de las tierras en Venezuela. *Agronomía Trop*. 28: 71- 66.
- Cristophe, S.A.; A. Jean-Cristophe; N. Annabelle; O. Alain; P. Marion; V. Anne-Sophie. 2011. Plant Nutrient Fluxes and modulation by nitrogen, heat and water stress. A Review based on comparison of legumes and non-legume plants. *In: Abiotic Stress in Plants Mechanisms and Adaptations*. Shanker, A.; Venkatesarlu, B. Eds. TnTech: Rijeka, Croatia. 75: 107-1031.
- Dasberg, S.; J.W. Bakker. 1970. Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for bean growth. *Agronomy J*. 62: 689-692.
- Dubey, R.S.; M. Pessarakli. 2001. Physiological mechanisms of nitrogen absorption assimilation in plants under stressful conditions *In: Pessarakli M. (ed) Handbook of plant and crop physiology (2nd Edn) Marcel Dekker Inc. New York. pp. 636-655.*
- Finol, M.E.A. 2001. Efecto del déficit de humedad del suelo sobre el desarrollo del ajonjolí (*Sesamun indicum* L.). *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 18: 1-12.
- Garg, B.K. 2003. Nutrient uptake and management under drought, nutrient-moisture interaction. *Curr. Agr*. 27: 1-18.
- Ge, T.; N.B. Sun; L.P. Bai; L.L. Tong; F.G. Su. 2012. Effects of drought stress on phosphorus and potassium uptake dynamics in summer maize (*Zea mays*) through the growth cycle. *Acta Physiol. Plant*. 34: 2179-2186.
- Grant, C.A.; D.N. Flaten; D.J. Tomesiewics; S.C. Shepperd. 2001. The Importance of early season phosphorus nutrition. *Canadian Journal Plan Science*. 79: 211-224.
- Grzesiak, S.; M.T. Grzesiak; T. Hura; I. Marcinska; A. Rzepka. 2013. Changes in root System structure, leaf water potential and gas exchange of maize and triticale seedlings affected by soil compaction. *Environmental and Experimental Botany*. 88: 2-10.
- Gunes, A.; N. Cicek; A. Inal; M. Aplaslan; F. Erasan; E. Guneri; T. Guzelordu. 2006. Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum*, L.) cultivars to drought stress implemented at pre and post anthesis stage and its relation with nutrient uptake and efficiency. *Plant Soil Environ*. 5: 368-36.
- Harwood, R.R. 2020. A History of Sustainable Agriculture. *In: Sustainable Agricultural Systems*. p. 3-19. CRC Press.
- Hillel, D. 2003. Introduction to Environmental Soil Physics. Elsevier Academic Press, San Diego, California, USA.
- Hue, Y.; Z. Burucz; S.V. Tucker; U. Shimidhalter. 2007. Short term effects of drought and salinity on mineral nutrition distribution along growing leaves of maize seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 60: 268-27.
- Johansen, T.J.; M.G. Thomsen; A.K. Loes; H.R. Ley; 2015. Root development in potato and carrot crops-influences of soil compaction. *Soil and Plant Science*. 65: 18-192.
- Jourholami, M.; A. Khoramizadeh; E.K. Zenner. 2016. Effects of soil compaction on seedling morphology growth, and architecture of chestnut-leaved oak (*Quercus castameifolia*). *Forest-Biogeos Ciences and Forestry*. 10: 145.

- Koppitz, H. 2004. Effects of flooding on the amino acid and carbohydrate patterns of *Phragmites australis*. *Limnologica*- 34: 37-47.
- Lal, R.; M. Shukla 2004. Principles of soil physics. Marcel Decker, New York. USA.
- Levit, J. 1980. Plant Responses in Environmental Stress. Academic Press, New York, 297 pp.
- Li, L.; H. Zhang; M. Tang; H. Chen. 2021. Nutrient uptake and distribution in mycorrhizal cuttings of *Populus × canadensis* 'Neva' under drought stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21: 2310-2324.
- Lindstron, M.J.; W.B. Voorhees. 1994. Response of temperate crops in North America to soil compaction. In: Chapter 12. Developments in Agricultural Engineering. Vol. 11: 265-286.
- Lipiec, J.; W. Medvedev; M. Birkas; E. Dumitru; T.E. Lyndina; S. Rousseva; E. Fulajtar. 2003. Effect of soil compaction on root growth and crop yield in Central and Eastern Europe. *Int. Agrophys* 17: 61-69.
- Lizaso, J.; L.M. Melendez; R. Ramírez. 2001a. Early flooding of two cultivars of tropic maize. I. Shoot and root growth. *J. Plant Nutrition*. 24: 979-995.
- Lizaso, J.; L.M. Melendez; R. Ramírez. 2001b. Early flooding of two cultivars of tropic maize. II. Nutritional responses. *J. Plant Nutrition* 24: 997-1011.
- Lobo, D. 1990. Pérdidas de agua y suelo y nutrimentos en un alfisol de Chaguaramas, en el estado Guárico, bajo coberturas diferentes. *Agron. Trop. Serie Edafologia*. 40: 79- 89.
- López, I.; M. Silva. 2011. Sistema Experto para recomendaciones de cal en los suelos de Venezuela. Serie D-N°3. INIA, Venezuela.
- Malkanthi, D.R.R.; K. Yokoyama; T. Yosida; M. Moritsugu; K. Matsushita 1995. Effects of low pH and Al on growth and nutrient uptake of several plants. *Soil Science and Plant Nutrition*. 41: 161-165.
- Morales, D.V.; R. Ramírez; J.S. Rivas; J.V. Sandoval; L. N. Rincón. 2007. Efecto de la forma de colocación y la dosificación potásica sobre el rendimiento del melón (*Cucumis melo* L.) en el municipio Mara estado Zulia. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 24: 257-268.
- Neale, N.; J. Hughes; C. Ward. 2000. Impact of unsaturated zone properties on oxygen transport and aquifer aeration. *Ground Water*. 38: 734-794.
- Neira, J.; M. Ortiz; L. Morales; E. Acevedo. 2015. Oxygen diffusion in soils: Understanding the factors and processes needed for modeling. *Chilean J. Agric. Res.* 75. Supl. 1. Review.
- Nidal, H. Abu-Hamdeh. 2003. Soil Compaction and root distribution for Okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil and Tillage Research*. 74: 5-35.
- Nkewiwe, P.M.; M. Weinmann; A. Bar-Tal; T. Muller. 2016. Fertilizer placement to improve crop nutrient acquisition and yield: A review and meta-analysis. *Field Crpos Research*. 196: 389-401.
- Olubango, O.O.; M.A. Yessoufou. 2019. Effect of soil compaction on the growth and nutrient uptake by *Zea Mays* L. *Sustainable Agriculture Research*. 8: 46-54.
- Palma, V.G. 1983. Cambios químicos causados por encalado en suelos tropicales. *Bioagro* 1: 33-42.
- Papendick, R.I.; J.R. Runles. 1965. Transient-State Oxygen diffusion in Soil. I. The Case When Rate of Oxygen Consumption is Constant. *Soil Scienc* 100: 251-261.
- Parlak, M.; A.O. Parlak. 2011. Effect of soil compaction on root growth and nutrient uptake of forage crops. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 9: 275-278.
- Pérez, V.A.; D.A. Leyva; F.C. Gómez. 2018. Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. *Rev. Mex. Cien. Agric.* Vol 9, N° 1.

- Ramírez, R. 1995. Relación de la germinación prematura del maíz con el encalado y el olibdeno en la semilla. *Agronomía Trop.* 45: 595-608.
- Ramírez, R.; M. López. 2000. Effectiveness of Phosphate Rock and Superphosphate for Aluminum Tolerant and Non-tolerant Sorghum Cultivars. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 31: 1169-1178.
- Rouphael, Y.; M. Cardarelli; D. Schwars; P. Franken; G. Colk. 2012. Effect of drought on the nutrient uptake and assimilation in vegetable crops. In: Aroca R. (eds). *Plant Responses to Drought Stress*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Rhue, R.D.; C.O. Grogan. 1977. Screening corn or Al tolerance using different Ca and Mg concentrations. *Agron. J.* 69: 755-760.
- Schjonning, P.; T. Yamagchi; D. Ralston. 2000. Predicting the gas diffusion coefficient in repacked soil: water-induce linear reduction model. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 64: 1588-1594.
- Sinh, R.; B.P. Ghildyal. 1980. Soil Submergence Effects on Nutrient Uptake, Growgh, and Yield of Fie Corn Cultivars. *Agronomy J.* 2: 737-744.
- Souza, M.A.S.; J. Faquin; D.R. Guelfi; C.G. Oliveira; C.E.A. Bastos. 2012. Acumulo de macronutrientes na soja influenciado pelo cultivo previo do campi marandu correcao e compactacao do solo. *Revista Ciencia Agronómica.* 43: 611-622.
- Steffens, D.; B. Hutch; T. Water Eschhol; T. Losak; S. Schubert. 2005. Water logging May inhibit plant growth primary by nutrient deficiency rather than nutrient toxicity. *Plant Soil Environ.* 51: 545-552.
- Summer, M.E.; A.D. Noble. 2013. Soil acidification: The world story. In: *Handbook of Soil Acidity*. 2023. Ed. Zenco Rengel. Marcel Dekker, Inc. New York. Basel
- Taiz, L.; E. Zeiger. 2006. *Plant Physiology* (4th Ed), Sinauer Associates, Massachusetts, 690 pp.
- Taylor, S.A.; G.L. Ashcroft. 1972. *Physical edaphology: The physics of irrigated and non-irrigated soils*. W. H. Freeman, San Francisco, California, USA.
- Thakuria, D.; S. Hazarika; R. Krishnappa. 2016. Soil acidity and management options. *Indian Journal of fertilizers*. Vol 1: 40-7.
- Unger, I. M.; A.C. Keneed; R.M. Muzica. 2009. Flooding effects on soil microbial communities. *Applied Soil Ecology* 42: 1.8.
- Unger, P.W.; T.C. Kaspar. 1994. Soil Compaction and root growth_: A Revie. *Agronomy Journal*. 86: 759-766.
- Valcheski, R.R.; S.M. Brandelero; D.J. Miquelutti; S.L.K. Sturmer; A.L. Tremonti; M.C. Fransao. 2016. Absorption of primary macronutrients and soybean growth at different compaction densities and moisture levels in a silt loam soil. *Rev. Ceres, Vicoso.* 63: 223-231.
- Valliyodan, B.; H.T. Nguyen. 2006. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. *Current Opinion in Plant Biology* 9: 189-195.
- Vera, E. 2010. Factores que limitan el rendimiento del maíz en parcelas comerciales ubicadas en la Colonia Agrícola Turén del estado Portuguesa. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. 166 p.
- Yin, X.; T. Vyn. 2003. Potassium placements effects on yield and seed composition of No Till soybean in alternate row widths. *Agronomy. J.* 95: 126-132.
- Wolkowski, S.P. 1990. Relationship between wheel-traffic-induce soil compaction, nutrient availability and crop growth. A Review
- Wood, S.; K. Sebastian; S. Scher. 2002. Soil resource condition. Pp 45-55, In: *Pilot analysis of global ecosystems*. Agrosystems International Food Police Institute and the World Resources Institute. Washington, D.C.