

Importancia de la fuente de nitrógeno sobre la producción y nutrición de la caña de azúcar en suelos con excesos de humedad

Fernando Muñoz A.* y Rafael Quintero D.**

Introducción

En el norte y el sur del valle del río Cauca predominan condiciones de humedad excesiva en los suelos, por lo cual es muy importante usar la fuente apropiada de nitrógeno (N) que garantice una alta eficiencia de la fertilización. Existen varias fuentes de nitrógeno disponibles para la fertilización de la caña de azúcar y la urea es la más utilizada por precio y contenido de N, aunque no siempre es la más apropiada. La eficiencia de los fertilizantes nitrogenados depende de las condiciones edáficas y climáticas que predominen durante la época de aplicación; esto significa que usar la misma fuente que dio buenos resultados en el pasado no necesariamente es una garantía en aplicaciones posteriores.

El N que toman las plantas proviene de la mineralización del N orgánico presente en los diferentes compuestos nitrogenados derivados de la materia orgánica del suelo y del fertilizante que se aplica. Las plantas normalmente toman el N en dos formas: amoniacal (NH_4^+) y nítrica (NO_3^-); pero la proporción óptima $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ depende de la especie y del estado de desarrollo de las plantas (Taghavi *et al*, 2004). En forma general, se ha encontrado que las plantas requieren una relación de 70:30, que es equivalente a 70 partes de NO_3^- por cada 30 partes de NH_4^+ (Martin *et al*, 2006). Los factores edáficos como la humedad, el pH y la textura del suelo afectan la tasa de nitrificación y por lo tanto la proporción de NO_3^- y NH_4^+ presente en el suelo en un momento dado. En suelos con baja infiltración, mal drenados, de pH ácido y textura fina se inhibe la nitrificación y por consiguiente la forma amoniacal (NH_4^+) predomina en la solución del suelo (Havlin *et al*, 1999).

La región del suelo adyacente a la superficie de las raíces es conocida como rizosfera y constituye una zona de transición entre el suelo y la superficie de las raíces. En esta zona se concentran las sustancias orgánicas secretadas por la raíz (iones, proteínas, azúcares y ácidos orgánicos). Las plantas absorben los nutrientes en forma de cationes (K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) y aniones (NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , Cl^-), y la proporción de aniones a cationes determina el pH de la rizosfera. Para mantener el equilibrio electrónico,

la raíz expulsa hacia la rizosfera un ión de hidrógeno (H^+) por cada catión absorbido; de la misma manera, cuando la raíz absorbe un anión expulsa un ión bicarbonato (HCO_3^-) (Cunningham, 1964).

Cuando se aplica urea en un suelo con exceso de humedad, el N ureico pasa a la forma amoniacal en un tiempo relativamente corto pero se restringe el paso de N amoniacal a N nítrico porque la nitrificación (conversión de NH_4^+ a NO_3^-) es realizada por bacterias aeróbicas presentes en los suelos. En suelos de pH neutro se han reportado disminuciones de hasta dos unidades de pH en la rizosfera por efecto del exceso de iones H^+ expulsados como compensación por la absorción de NH_4^+ (Miller *et al*, 1970; Smiley, 1974; Sarkar y Wyn Jones, 1982). Al tornarse ácido el pH de la rizosfera, la disponibilidad de los micronutrientes se incrementa y se presenta la posibilidad de fitotoxicidad por la mayor disponibilidad de Mn, Fe y Al, en su orden. En suelos con alta disponibilidad de Mn, éste se vuelve tóxico cuando el pH es menor que 6, valor al cual el Al aún está insoluble (Hue *et al*, 1987). Se han reportado incrementos en el contenido de Mn disponible en el suelo de hasta 100 veces por cada unidad que disminuya el pH (Hue *et al*, 2001). Otros factores, como las aplicaciones de materiales orgánicos, pueden causar toxicidad por Mn aún a pH alcalino debido a que algunos compuestos orgánicos pueden incrementar la solubilización del Mn (Hue, 1988).

A pesar de que la caña de azúcar ha sido reportada como tolerante al exceso de Mn disponible en el suelo (CTAHR, 1998), el efecto combinado de la falta de aireación en el suelo (condiciones reductoras), la disponibilidad excesiva de N amoniacal (por baja nitrificación), la toxicidad por elementos menores y el uso de una fuente de N no apropiada para las condiciones edáficas y ambientales, pueden reducir de manera significativa la producción de caña y sacarosa. Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se planteó un experimento en donde se aplicaron dos fuentes nitrogenadas, urea (46% N) y NAL (nitrate de amonio líquido, 10.5% N-amoniacal y 10.5% N-nítrico), para observar su efecto en la producción de la caña de azúcar en condiciones de suelos con exceso de humedad.

* Ingeniero Agrónomo, Ph.D.; Edafólogo de Cenicaña <fmunoz@cenicana.org>
** Ingeniero Agrónomo, M.Sc.

El nitrógeno que toman las plantas proviene de la mineralización del nitrógeno orgánico presente en los diferentes compuestos nitrogenados derivados de la materia orgánica del suelo y del fertilizante que se aplica. Las plantas normalmente toman el nitrógeno en dos formas: amoniacal (NH_4^+) y nítrica (NO_3^-). La proporción óptima $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ depende de la especie y del estado de desarrollo de las plantas.

Metodología

El experimento se estableció en el ingenio Riopaila, hacienda Valparaíso, suerte 23, zona agroecológica 5H3, suelo Nuevo Pichichí (NP) clasificado como Typic Haplusterts, familia textural muy fina. Este suelo presenta permeabilidad muy baja, pH de 6.2 y materia orgánica de 2.6% en promedio. La variedad de caña sembrada fue la CC 85-92. El experimento se estableció usando dos fuentes de N (urea y NAL) y cinco dosis en la plantilla: 0, 50, 100, 150 y 200 kg ha^{-1} de N. En la soca se incrementaron las dosis en 50 kg ha^{-1} por tratamiento. El tamaño de las parcelas fue de 12 surcos de 10 m separados a 1.75 m (210 m^2). La urea contiene 46% de N amónico y el NAL contiene 21% de N total dividido en 50% N nítrico y 50% N amoniacal. El N se aplicó en banda o dirigido a la base de la cepa a los 45 días después de la siembra o el corte. Debido a los contenidos adecuados en el suelo de P (14.2 mg kg^{-1}) y K ($0.84 \text{ cmol kg}^{-1}$) no fueron necesarias las aplicaciones de estos nutrimentos.

A los 90, los 145 y los 180 días después de la siembra o el corte se tomaron muestras de tejido foliar para conocer el contenido de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn. Dos semanas antes de la cosecha se tomaron muestras de caña de cada parcela y se les realizó análisis de calidad de los jugos. Al momento de la cosecha se pesaron los seis surcos centrales de cada parcela para estimar las variables de productividad de cada tratamiento. A cada uno de los dos conjuntos de datos recolectados (plantilla y soca) se les realizó un análisis de correlación y de varianza.

Resultados

En la plantilla se observaron diferencias en el contenido de N, P y Cu foliar a los tres meses debido a las dosis de N aplicadas, presentándose contenidos significativamente menores con las dosis más bajas (0 y 50 kg ha^{-1} de N), lo cual sugiere que en las condiciones mencionadas una dosis de 100 kg ha^{-1} de N sería adecuada para lograr una buena nutrición del cultivo. La dosis de 100 kg/ha de N como NAL produjo los valores más altos en toneladas de caña y azúcar por hectárea (TCH y TAH) (Figura 1). Los tratamientos con NAL produjeron 128 TCH mientras que con la urea se obtuvieron 107 TCH; la diferencia fue significativa al 6%. En términos de TAH, el NAL produjo 16.2 TAH, mientras que las parcelas fertilizadas con urea produjeron 14.6 TAH; la diferencia fue significativa al 5%. Estos resultados demuestran que el NAL fue más eficiente que la urea en las condiciones edáficas y climáticas que se presentaron durante la plantilla.

Durante la primera soca no se observaron diferencias significativas en TCH ni TAH por efecto de los tratamientos estudiados. Se presentó una disminución generalizada de TCH y TAH con respecto a la plantilla. La reducción de las TCH y las TAH y la no diferenciación en la respuesta al NAL y a la urea durante la primera soca (Figura 1) sugirieron que hubo un factor adicional que no estuvo presente durante la plantilla pero que se manifestó durante la primera soca. Para buscar la causa de la reducción de la productividad en la primera soca se hizo un análisis de correlación de todo el conjunto de variables recolectadas durante la primera soca y se encontró una correlación negativa y altamente significativa entre el contenido de Mn foliar a los 6 meses y la producción, las TCH (-0.72 , $p < 0.0001$) y las TAH (-0.64 , $p < 0.0001$), lo cual sugiere la ocurrencia de toxicidad por Mn como una de las causas posibles de la disminución de la productividad. La relación entre Mn foliar a los 6 meses *versus* TCH y TAH fue descrita por una regresión lineal significativa (Figura 2).

La disponibilidad de Mn en el suelo puede cambiar de un periodo de cultivo al siguiente, según las condiciones ambientales y edáficas. Al comparar la distribución de la precipitación ocurrida durante la plantilla y la primera soca (Figura 3), la mayor precipitación durante la primera soca, entre los 120 y 180 días después del corte, pudo incrementar la solubilidad del Mn debido a la presencia de condiciones de reducción causadas por el mal drenaje (Krishnamurti y Huang, 1992). La ocurrencia de estos eventos durante el desarrollo de la primera soca posiblemente causó incremento en la absorción de Mn por parte del cultivo con la consecuente disminución de la productividad.

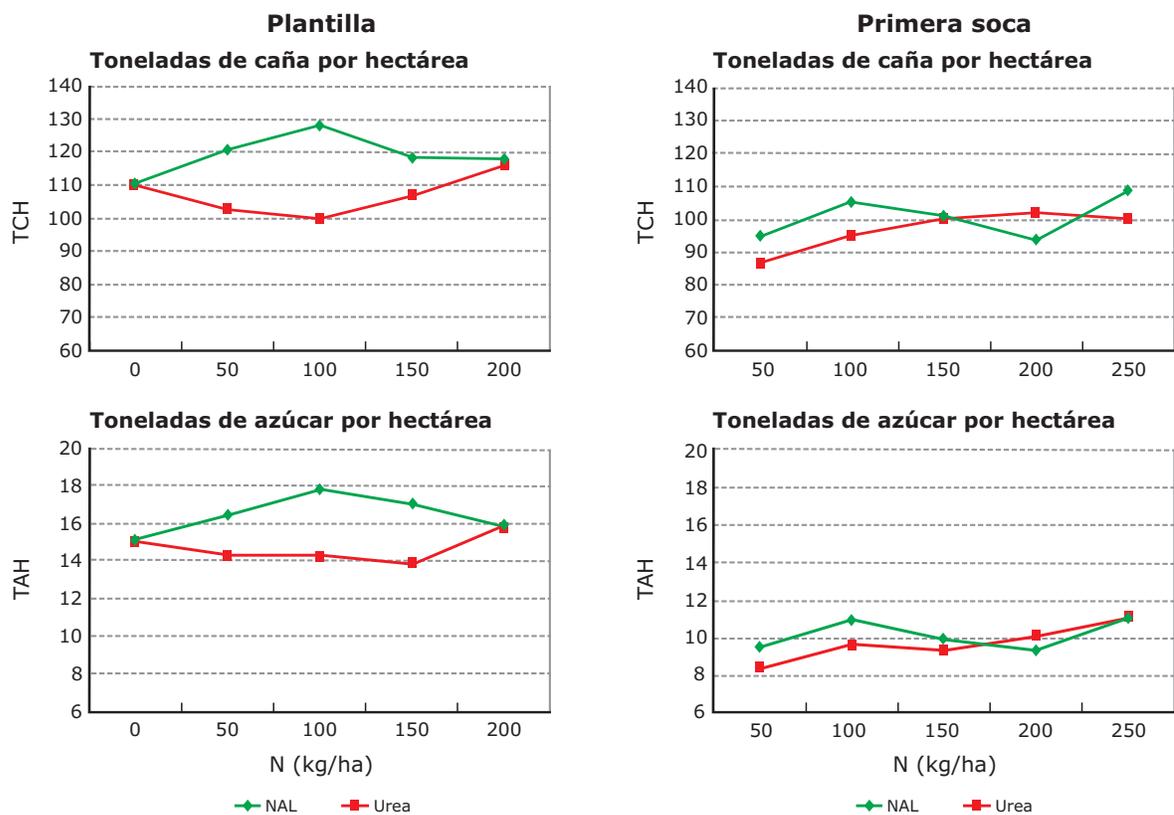


Figura 1. Resultados de productividad en plantilla y primera soca de la variedad CC 85-92 fertilizada con urea y NAL en un suelo Nuevo Pichichí (Typic Haplusterts), zona agroecológica 5H3.

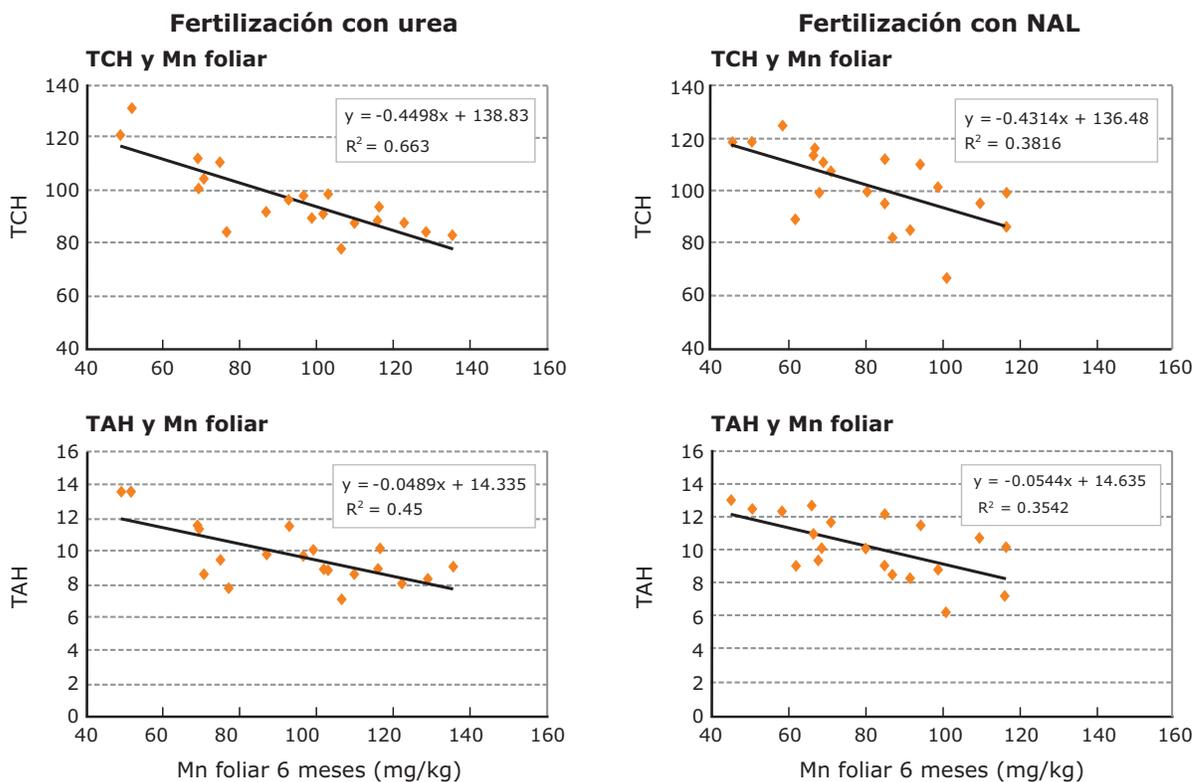


Figura 2. Regresiones lineales entre Mn foliar a los 180 días después del corte de la primera soca de la variedad CC 85-92 fertilizada con NAL y urea en un suelo Nuevo Pichichí (Typic Haplusters), zona agroecológica 5H3.

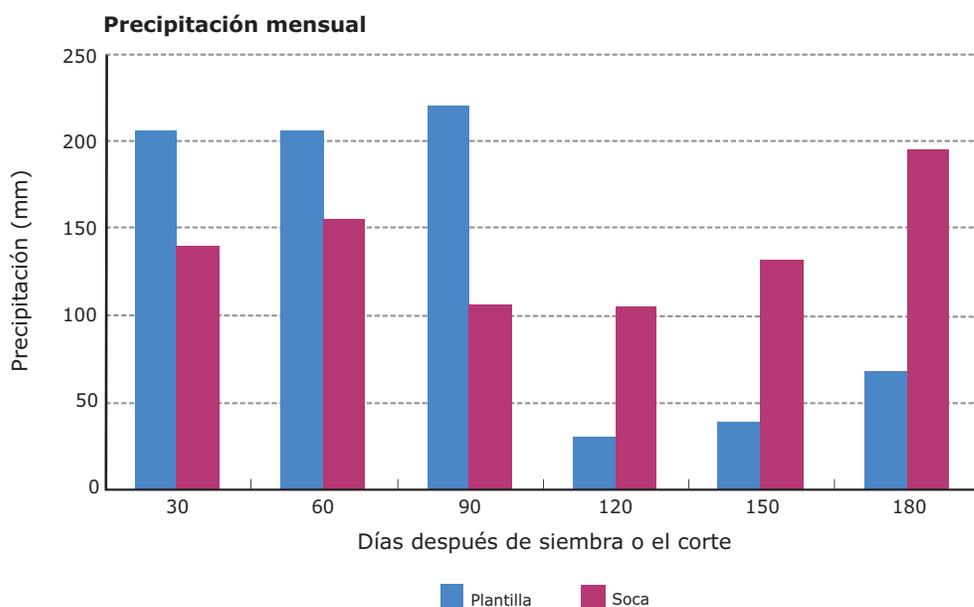


Figura 3. Precipitación mensual ocurrida durante los primeros 180 días después de la siembra y el corte del ensayo de fuentes de N en un suelo Nuevo Pichichí (Typic Haplusterts) en la zona agroecológica 5H3.

En la primera soca se observó que en las parcelas fertilizadas con urea el coeficiente de determinación (R^2) de la regresión lineal entre Mn foliar a los 180 días, TCH y TAH, fue mayor que el de las parcelas fertilizadas con nitrato de amonio líquido (Figura 1). Este hecho sugiere que hubo mayor acidificación de la rizosfera debido a que las plantas tomaron el N en forma amoniacal, lo que probablemente ocurrió en las parcelas fertilizadas con urea cuando el amonio producido por la hidrólisis de la urea no fue nitrificado debido a la dominancia de condiciones anaeróbicas que restringieron la acción de las bacterias nitrificantes.

Para determinar la distribución espacial de la concentración del Mn foliar y su concordancia con la distribución espacial de las TCH en el área experimental durante la primera soca, se hicieron mapas geoestadísticos de Mn foliar (Figura 4) y TCH (Figura 5). En los mapas se puede observar que las

áreas con mayor contenido de Mn foliar concuerdan con las de menor TCH y viceversa, lo que corrobora la hipótesis de la toxicidad por Mn. Además se observó que las áreas del experimento con menor contenido de Mn foliar y por lo tanto con mayor TCH estuvieron localizadas cerca de un canal de drenaje profundo, hecho que demuestra la importancia de un sistema de drenaje eficiente.

Los resultados de este estudio permiten concluir que para optimizar la productividad de la caña de azúcar en suelos que presenten condiciones de baja infiltración, mal drenados, de pH ácido y de textura fina, se debe contar con un sistema de drenaje eficiente y llevar a cabo programas de fertilización que incluyan N en forma nítrica y aplicado en la dosis adecuada. Se proyecta realizar un estudio más detallado para esclarecer el efecto tóxico del Mn sobre la producción de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

A pesar de que la caña de azúcar ha sido reportada como tolerante al exceso de manganeso disponible en el suelo (CTAHR, 1998), el efecto combinado de la falta de aireación en el suelo (condiciones reductoras), la disponibilidad excesiva de nitrógeno amoniacal (por baja nitrificación), la toxicidad por elementos menores y el uso de una fuente de nitrógeno no apropiada para las condiciones edáficas y ambientales pueden reducir de manera significativa la producción de caña y sacarosa.

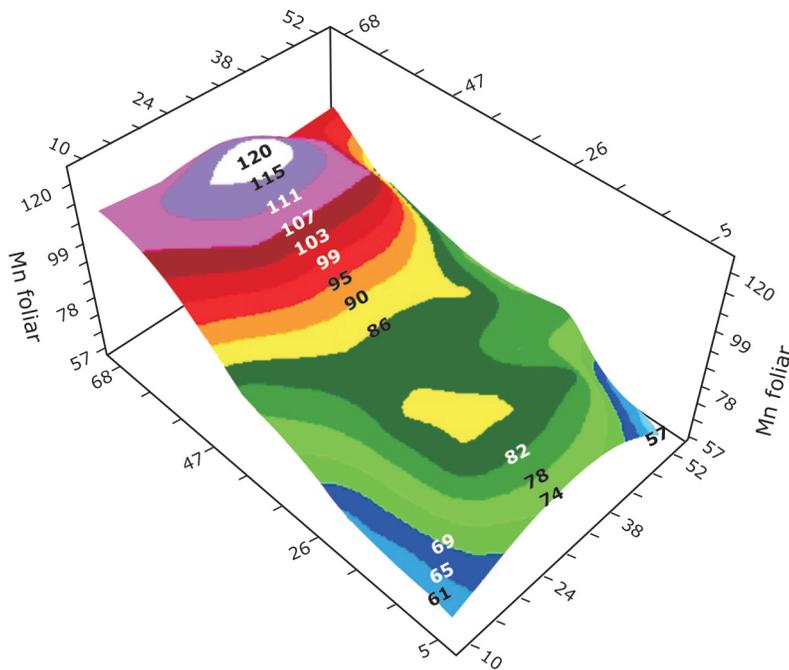


Figura 4. Distribución espacial del Mn foliar en la primera soca de la variedad CC 85-92 a los 180 días después del corte.

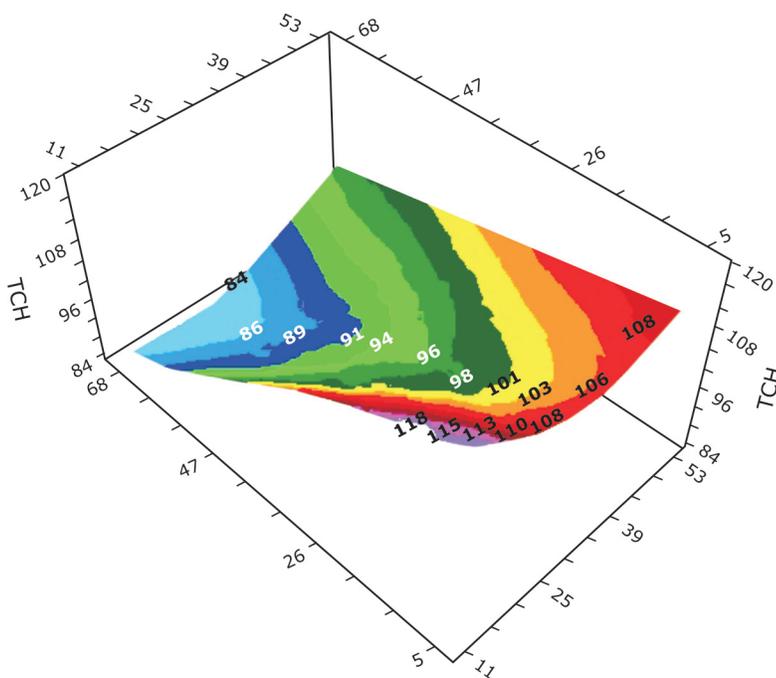


Figura 5. Distribución espacial de las TCH en la primera soca de la variedad CC 85-92 en suelo Nuevo Pichichí (Typic Haplusters), zona agroecológica 5H3.

Referencias bibliográficas

- CTAHR (College of Tropical Agriculture & Human Resources). University of Hawaii. 1998. Managing manganese toxicity in former sugarcane soil in Oahu. Soil Crop and Management. SCM.1. 7 p.
- Cunningham, R.K. 1964. Cation-anion relationships in crop nutrition: III Relationships between the ratios of sum of cations: sum of the anions and nitrogen concentrations in several species. Journal of Agricultural Sciences. 63, 109-111.
- Havlin, J.L.; Beaton, J.D.; Tisdale, S.L. y Nelson W.L. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Sixth edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 499 p.
- Hue, N.V.; Fox, R.L. y McCall, W.W. 1987. Aluminum, Ca, and Mn concentrations in macadamia seedlings as affected by soil acidity and liming. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 18, 1253-1267.
- Hue, N.V. 1988. A possible mechanism for manganese toxicity in Hawaii soils amended with low-Mn sewage sludge. Journal of Environmental Quality. 17, 473-479.
- Hue, N.V.; Vega, S. y Silva, J.A. 2001. Manganese toxicity in a Hawaiian oxisol affected by soil pH and organic amendments. Soil Science Society of America Journal. 65, 153-160.
- Krishnamurti, G.S.R. y Huang, P.M. 1992. Dynamics of potassium chloride induced manganese release in different soil orders. Soil Science Society of America Journal. 56, 1115-1123.
- Martin, I.; Alonso, N.; López, M.C.; Prieto, M.; Cadahia, C. y Eymar, E. 2006. Nitrogen fertilization using hydroponic cultures to fertigate ornamental Shrubs. Journal of Plant Nutrition. 29, 1-23.
- Miller, M.H.; Mamaril, C.P. y Blair, G.J. 1970. Ammonium effects on phosphorus absorption through pH changes and phosphorus precipitation, at the soil-root interface. Journal of Agronomy 62, 524-527.
- Sarkar, A.N. y Wyn Jones, R.G. 1982. Influence of rhizosphere on the nutrient status of dwarf French beans. Plant and Soil, 64, 369-380.
- Smiley, R.W. 1974. Rhizosphere pH as influenced by plant soils and nitrogen fertilizer. Soil Science Society of America Proc. 38, 795-799.
- Taghavi, T.S.; Mesbah-Babalar; Ali-Ebadi; Hasan-Ebrahimzadeh; Asgari, M.A. 2004. Effects of nitrate to ammonium ratio on yield and nitrogen metabolism of strawberry (Fragaria x ananassa cv. Selva). Internacional Journal of Agriculture and Biology. 6, 994-997.



Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia - Cenicaña

Agroindustria unida en la investigación y el desarrollo

Cenicaña es una institución privada de carácter científico y tecnológico, sin ánimo de lucro, fundada en 1977 por iniciativa de la agroindustria azucarera localizada en el valle del río Cauca. Su misión es contribuir por medio de la investigación, evaluación y divulgación de tecnología y el suministro de servicios especializados al desarrollo de un sector eficiente y competitivo, de manera que éste juegue un papel importante en el mejoramiento socioeconómico y en la conservación de un ambiente productivo, agradable y sano en las zonas azucareras.

Las actividades de investigación y desarrollo son financiadas por los ingenios azucareros y los cultivadores de caña a través de donaciones directas definidas cada año como un porcentaje del valor de la producción de azúcar.

Las áreas de investigación se enmarcan en tres programas: Variedades, Agronomía y Procesos de Fábrica. Los servicios de apoyo son: Información y documentación, Economía y Estadística, Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología y Tecnología Informática.

El Centro Experimental está ubicado a 3°13' latitud norte, a 1024 metros de altura sobre el nivel del mar. En este sitio la temperatura media anual es de 23.5 °C, la precipitación de 1160 mm y la humedad relativa de 77%.

La **Carta Trimestral** es una publicación periódica, editada por Cenicaña con el propósito de difundir información y conocimientos científicos y tecnológicos relacionados con el desarrollo de la agroindustria azucarera colombiana. Ofrece documentación resumida sobre los resultados generados por el centro de investigación y las experiencias de ingenios y cañicultores con las nuevas tecnologías, al tiempo que provee las referencias bibliográficas complementarias sobre cada tema. El primer volumen fue editado en 1978, y los cambios más significativos de diseño y concepto editorial se dieron en 1997 cuando la versión impresa comenzó a publicarse también en Internet.

Título: Importancia de la fuente de nitrógeno sobre la producción y nutrición de la caña de azúcar en suelos con excesos de humedad

Autores: Fernando Muñoz A.; Rafael Quintero D.

Publicado en: Carta Trimestral. Cenicaña, 2009. v.31, nos. 1 y 2. p.23-27

© Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2009.

Centro Experimental: vía Cali-Florida, km 26
Tel: (57) (2) 6876611 – Fax: (57) (2) 2607853
Oficina de enlace: Calle 58 norte no.3BN-110
Apartado aéreo: 9138
Cali, Valle del Cauca – Colombia

www.cenicana.org
buzon@cenicana.org