

**FACULTAD DE
CIENCIAS NATURALES y AGROPECUARIAS**

**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero
Agrónomo**

**Título: Influencia del fósforo sobre el contenido de materia seca de la
biomasa aérea que aporta al suelo la caña de azúcar**

Autora: Melisa Maura Aguilar Riverón

Tutores: Ms C. Juan Alejandro Villazón Gómez

Curso 2021

Pensamiento

“La tierra es la madre de la fortuna, salvarla es ir directamente a ella.”

José Martí

Resumen

El trabajo se desarrolló en un experimento con un diseño en bloque al azar sobre un Vertisol Crómico, con el objetivo de determinar las cantidades de materia seca y de nutrientes que aportan al suelo los restos de cosecha de la caña de azúcar bajo diferentes dosis de fósforo. Fueron cortadas 5 plantas antes de la cosecha de los 4 retoños en los surcos 2 y 3 de las parcelas de la 3ra repetición. Al cogollo de las muestras se le determinaron los porcentajes de materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio; se realizó un conteo de tallos en cada una de las parcelas para expresar los porcentajes en magnitudes de masa. Se efectuó un Análisis de Varianza de clasificación simple mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan a un 95% de probabilidades. Los tratamientos donde se fertilizó con fósforo a razón de 250 kg ha⁻¹ al inicio de ciclo, y con 50 y 25 kg ha⁻¹ anual, fueron los de mayor contenido de materia seca. El 2 do retoño mostró los mayores tenores de dicho constituyente. En las interacciones la influencia de la cepa sobre la materia seca es mayor. En cuanto al fósforo, entre los mejores tratamientos se alternan aquellos donde el nutriente se aplicó a partir de determinado ciclo, donde se fertilizó todos los años y donde se hizo al inicio del ciclo. Los peores tratamientos fueron el testigo y el testigo absoluto. Las interacciones con mayor contenido de nutrientes se agruparon en el 2 do retoño.

Palabras claves: Fósforo, Materia seca, Residuos de cosecha.

ABSTRACT

The work developed in an experiment with a design on block at random in a Chromic Vertisol, for the objective of determining the quantities of dry matter and nutrients that contribute to the soil the rests of harvest of the sugarcane under different doses of phosphorus. Five plants were cut in the furrows 2 and 3 of the plots of the 3rd repetition before the harvest of each one of the four ratoons. To the sugarcane top of the samples were determined the percentages of dry matter, nitrogen, phosphorus and potassium; A count of stems came true in every one of you divide them into lots to express the percentages in magnitudes of mass. It took effect an Analysis Of Variance of simple classification intervening the test of multiple status of Duncan to 95% of confidence. The treatments where it was fertilized with phosphorus at the rate of 250 kg ha⁻¹ to the start of cycle, and with 50 and 25 kg ha⁻¹ yearly, they were those of bigger dry matter content. The 2nd ratoon showed the aforementioned constituent member's bigger tenors. In the interactions the influence of the ratoon on the dry matter is major. As soon as phosphorus, between the best treatments those take turns where the nutrient was applicable from determined cycle, where it was fertilized every year and where it moved to the start of the cycle. The poorer treatments were the witness and the absolute witness. The interactions with bigger nutrient content formed a group in the 2nd ratoon.

Keywords: Phosphorus, Dry matter, Residues of harvest.

Índice

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Problema científico	1
Hipótesis	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1-Los suelos Vertisoles	3
1.1.-Tipo genético de suelo Vertisol Pélico	3
1.2.-Tipo genético de suelo Vertisol Crómico	4
1.3.-Extensión y distribución	4
1.4.-Clima	5
1.5.-Geomorfología	6
1.6.-Vegetación	6
2-Proceso de formación de los Vertisoles	7
3-Factores limitantes	8
3.1.-Degradación	8
3.2-Hidromorfía	9
3.3.-Erosión	10
3.4.-Salinización	11
3.5.- Profundidad efectiva	12
3.6.-Compactación	12
4-La caña de azúcar	14
4.1.-Fertilización	14
4.2.-Labores culturales	15
4.3.-Papel que desempeña el P en la caña de azúcar	15
4.4.-Respuesta de la caña de azúcar ante las aplicaciones de P	16
4.5. Influencia de las propiedades del suelo	17
MATERIALES Y MÉTODOS	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

INTRODUCCIÓN

En un trabajo anterior (Villazón et al., inédito) 1 mencionábamos la importancia de los restos de cosecha dejados en el campo como fuente de materia orgánica para el suelo; así como el papel fundamental que, junto al potasio, juega el fósforo en el caso específico de los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar. Además, según Cuéllar et al. (2003) el mismo es un macro elemento esencial para el crecimiento, desarrollo y reproducción del cultivo; al participar en la brotación, el desarrollo radical, la elongación de los tallos y el ahijamiento. También en los procesos de intercambio de energía. Forma parte, además, de los ácidos nucleicos, los fosfolípidos y coenzimas respiratorias. Este nutriente (Syers et al., 2008) al ser retenido en el suelo puede influir sobre los rendimientos de las plantaciones durante un período de varios años.

Por otra parte, el uso desmedido del fósforo como fertilizante trae aparejo efectos nocivos sobre el medio ambiente como pueden ser la eutrofización de las aguas (Meyer et al., 2011) o la posibilidad de la acumulación de cadmio en el suelo, procedente de las rocas fosfóricas con las que se elabora el fertilizante (Johnston, 2000; Zapata y Roy, 2004; Aini Azura et al., 2012). La aplicación de fertilizantes fosfóricos puede incrementar, en un corto período de tiempo, la concentración de cadmio en las plantas sin tener en cuenta su concentración en el fertilizante. (Gao et al., 2011). El problema se ha vuelto tan generalizado que las clasificaciones de suelo (FAO, 2006; FAO-UNESCO, 1989; Soil Survey Staff, 2010) incluyen, entre sus criterios, un horizonte de diagnóstico sometido a alteraciones por la actividad antrópica debido al intenso cultivo, en el que los niveles de fósforo igualan o superan los $1\ 500\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}$. Por las razones antes planteadas nos trazamos como objetivo de este trabajo determinar las cantidades de materia seca y de nutrientes que aportan al suelo los restos de cosecha de la caña de azúcar bajo diferentes dosis de fósforo.

PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Cómo influye la fertilización fosfórica sobre el contenido de materia seca de la biomasa aérea que aporta al suelo el cultivo de la caña de azúcar?

HIPÓTESIS

La aplicación de diferentes dosis de fertilizante fosfórico influye sobre el contenido de materia seca en la biomasa aérea que aporta al suelo el cultivo de la caña de azúcar.

OBJETIVO GENERAL

Determinar las cantidades de materia seca y de nutrientes que aportan al suelo los restos de cosecha de la caña de azúcar bajo diferentes dosis de fósforo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar el contenido de materia seca.

Calcular la composición en cuanto a macroelementos primarios de la materia seca.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1-LOS SUELOS VERTISOLES

Los vertisoles constituyen uno de los agrupamientos de suelos más importantes en la provincia Holguín debido a su amplia distribución. Los mismos son muy estudiados en la actualidad en cuanto a sus propiedades físicas.

En Cuba estos suelos fueron diagnosticados inicialmente como Gley Tropicales, posteriormente como Vertisoles, manteniéndose este nombre en la nueva versión de clasificación genética de los suelos (Hernández et al., 2010).

En la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, que combina los principios genéticos geográficos con los nuevos conceptos de horizontes y características de diagnóstico aparecen denominados como Vertisoles Crómicos (Hernández et al., 1999).

El nombre Vertisol deriva del latín *vertex* que significa mezclado. Son suelos que presentan un 30% o más de arcilla en todos los horizontes hasta una profundidad de 50 cm. El contenido de arcilla puede ser hasta del 90%. Además, estos tienen cambios pronunciados en el volumen con la variación del contenido de humedad y evidencias de movimiento del suelo en las caras de deslizamiento (WRB, 2006).

Las características que distinguen a estos suelos son el espesor arcilloso, plasticidad, el color oscuro, la formación de bloques prismáticos mayores de 15 cm con caras de deslizamiento, además de la presencia de grietas y microrrelieve gilgai.

Dentro del Grupo se separan dos Tipos genéticos: Vertisol Pélico y Vertisol Crómico.

1.1.-TIPO GENÉTICO DE SUELO VERTISOL PÉLICO

Son de perfil AC, ABC, ACg o ABCg. Dentro de este tipo se separan Subtipos por el color oscuro, presencia de horizonte mullido, por la humificación, presencia horizonte cálcico, de la gleyzación, de características estágnicas y la influencia del cultivo en el cambio de las propiedades del suelo (evolución agrogénica).

Las Especies de suelos se determinan por la profundidad del solum y la humificación, y por el grado de salinidad del suelo, según lo establecido en la II Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1975).

Las Variedades de suelos surgen cuando se aplica la textura que en este caso predominan las variedades arcillosas.

1.2.-TIPO GENÉTICO DE SUELO VERTISOL CRÓMICO

En este tipo de suelos se incluyen aquellos Vertisoles que presentan colores con chroma mayor de 2, por lo que se encuentran en regiones donde hay sedimentos que provienen de regiones con suelos que tienen alto contenido en hierro se caracterizan al igual que el tipo de suelos anterior por tener un horizonte vértico de estructura de bloques prismáticos con caras de deslizamientos, pero con chroma y valúe mayor de 2.

Los Subtipos encontrados se fundamentan en la humificación, presencia de Horizonte cálcico, del horizonte nodular ferruginoso y de propiedades gléyicas por debajo de 50 cm de profundidad. Cuando tenemos en cuenta el lavado de los carbonatos, la sodicidad y salinidad, se establecen los Géneros de suelos.

Las Especies de suelos se determinan por la profundidad del solum, la humificación, el grado de salinidad o sodicidad y la intensidad de formación de los nódulos ferruginosos.

Las Variedades de suelos por la textura, predominando los arcillosos.

1.3.-EXTENSIÓN Y DISTRIBUCIÓN

Los suelos vertisoles cubren 335 millones de hectáreas a nivel mundial. Unos 150 millones de ha estimadas son potenciales tierras de cultivo. En los trópicos cubren unos 200 millones ha; un cuarto de éstas se consideran tierras útiles. La mayoría de estos se encuentran en los trópicos semiáridos, con una lluvia media anual de 500– 1 000 mm, pero también se encuentran vertisoles en los trópicos húmedos, e.g. Trinidad (donde la lluvia anual alcanza 3 000 mm). Las áreas más grandes están sobre sedimentos que tienen alto contenido de arcillas esmectíticas o que producen tales arcillas por meteorización post-deposicional (e.g. en Sudán). Los

vertisoles también son prominentes en Sudáfrica, Australia, sudoeste de Estados Unidos de Norteamérica (Texas), Uruguay, Paraguay y Argentina. Se encuentran típicamente en bajas posiciones del paisaje tales como fondos de lagos secos, cuencas de ríos, terrazas inferiores de ríos y otras tierras bajas que periódicamente están húmedas en su estado natural (FAO, 2017).

Tabla 1.- Correlación aproximada de los Vertisoles Crómicos típicos con algunas clasificaciones nacionales e internacionales.

Clasificación	Nombre
Clasificación de Bennett y Allison (Bennett y Allison, 1966)	Alto Cedro (serie)
Génesis y clasificación de los suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 1973)	Gleyes Tropicales
Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández et al., 1975)	Oscuros Plásticos, subtipo amarillentos
Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández et al., 1999)	Vertisoles Crómicos típicos
Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010)	Chromic Haplustert
Leyenda Revisada (FAO-UNESCO, 1989)	Vertisol Eútrico
World Reference Base for Soil Resources (Spaargaren et al., 1994)	Vertisoles Crómicos

1.4.-CLIMA

En Cuba predomina el clima tropical, pudiéndose notar una gran uniformidad en las temperaturas, no ocurriendo así en las precipitaciones, que si bien son

abundantes en todo el territorio (1 200 mm de promedio anual aproximadamente), presentan gran irregularidad en su distribución. Las zonas de suelos vertisoles tienen una temperatura media anual entre 24 y 26°C, semejante al promedio del territorio nacional, existiendo una excepción en el área que ocupa la franja costera que va desde la bahía de Cienfuegos hasta el Golfo de Guacanayabo, en la provincia de Oriente (Instituto de Suelos, 1973)

Las temperaturas máximas en la zona de estos suelos son de 35°C a 39°C y la mínima oscila entre 7°C y 10°C, ocurriendo las primeras entre los meses de julio y octubre y las segundas entre los meses de diciembre y febrero (Instituto de Suelos, 1973).

1.5.-GEOMORFOLOGÍA

El relieve va desde llano hasta ligeramente alomado en algunas posiciones. Predomina el llano y ligeramente ondulado con pequeñas elevaciones a intervalos que contrastan con el relieve general, su posición fisiográfica varía entre llanuras costeras y llanuras intramontanas, microrrelieve característico de saltanejo y también ondulado o irregular. La erosión en general no es motivo de preocupación, a causa de la topografía y de la resistencia del material; excepto en las zonas más elevadas mencionadas anteriormente, que pueden tener problemas notables de erosión hídrica laminar si no se toman ciertas medidas (Dirección General de Suelos y Fertilizantes, 1985).

1.6.-VEGETACIÓN

La vegetación típica y espontánea de un suelo es muy característica y de gran ayuda para clasificar, pero en suelos tan influidos por el hombre es lógico que queden pocas huellas o ninguna de la vegetación original. Ello trae como consecuencia el surgimiento de otras que se adaptan, por su rusticidad o sus características, a muchas condiciones y a muchos suelos. En esta situación precisamente se encuentra este suelo en su mayor área, la cual ha sido muy explotada en caña y pastos (Dirección General de Suelos y Fertilizantes, 1985).

Las especies vegetales que con más frecuencia aparecen en los distintos lugares son las siguientes. Especies arbóreas: júcaro (*Bucida buceras*), ateje

(*Cordia allcocca*), palma real (*Roystonea regia*), guácima (*Guazuma tomentosa*) y caoba (*Swietenia mahogany*). Arbustos y malas hierbas: jiribilla (*Andropogon caricosus*), mal casada (*Euphorbia heterophylla*), guizazo de Baracoa (*Xanthium chinensis*), don Juan de Castilla (*Digitaria sanguinalis*), hierba de sapo (*Trianthema portulacastrum*), súrbanda (*Panicum fasciculatum*) (Dirección General de Suelos y Fertilizantes, 1985).

2.-PROCESO DE FORMACIÓN DE LOS VERTISOLES

La causa principal del proceso de formación de los vertisoles es el sobre humedecimiento temporal o permanente del material del suelo, que impide el acceso de aire, creando condiciones anaeróbicas que dan como resultado la reducción de varios compuestos minerales, especialmente los de hierro y manganeso (Instituto de Suelos, 1973).

Estas condiciones son determinadas por un manto freático alternante o por estancamiento superficial producido por un subsuelo impermeable muy plástico. El sobre humedecimiento en estos suelos se produce fundamentalmente en la época de lluvia aunque mantienen alguna humedad en la época de seca, sobre todo en los horizontes inferiores, cuando están influenciados por el manto freático alto; esta alternancia de humedad es importante en el proceso de formación. En el caso de que el proceso de gleyzación esté determinado por una capa freática alta, los horizontes gleyzados son perfectamente reconocibles por su color gris azulado intenso (Instituto de Suelos, 1973).

En el segundo caso no es fácilmente reconocible el moteado y se hace necesario tener como fundamento en su identificación la consistencia, que es altamente plástica en su mayoría. Tanto el régimen de lluvias como la topografía ejercen marcada influencia en la formación de este suelo, ya que el fenómeno del gley se debe fundamentalmente a las precipitaciones y a la topografía liana junto con la compactación, que no permiten el movimiento lateral de las aguas y la percolación (Instituto de Suelos, 1973).

Debe tenerse presente que el tipo de arcilla es un elemento de consideración en las características adquiridas por estos suelos, pues aquellas, al expansionarse y

contraerse según estén húmedas o secas, producen una constante translocación de materiales orgánicos y minerales desde las partes superficiales hasta las más profundas, a través de las grietas formadas cuando dichas arcillas se contraen. Junto con la gleyzación puede ocurrir paralelamente un proceso de acumulación de materia orgánica que lógicamente influye de una manera decisiva en las características de estos suelos (Instituto de Suelos, 1973).

La manifestación del proceso de gley es reconocida en el perfil por un horizonte de color gris azulado, azul claro, o verdoso, debido a compuestos ferrosos y manganesos acomplejados a sílice y aluminio. También pueden observarse manchas herrumbrosas y ocreas, que se forman usualmente a lo largo de huellas de raíces por donde el aire penetra hasta el horizonte anaerobio, de modo que cerca de las pequeñas raicillas surgen áreas de oxidación. (Instituto de Suelos, 1973).

3.-FACTORES LIMITANTES

3.1.-DEGRADACIÓN

Uno de los problemas más graves que enfrenta la agricultura cubana es el referente a la degradación de los suelos y no prestarle la debida atención a los procesos que la ocasionan, los cuales comprometen seriamente el futuro del país. Enfrentamos hoy un reto en las aspiraciones por lograr establecer un sistema agrícola sostenible, capaz de solventar la creciente demanda alimentaria de la población: el reto consiste en detener los procesos que degradan los suelos (Instituto de Suelos, 2001; Vargas, 2008).

La degradación de suelos es un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que afectan la productividad de los ecosistemas. Los cambios producidos en el suelo por este proceso pueden llegar a ser irreversibles y tener consecuencias sociales, económicas, ecológicas y políticas negativas. El proceso de degradación se relaciona íntimamente con el uso inadecuado de los recursos agua, suelo, flora y fauna por el hombre (Alejo et al., 2012) y sobreexplotación de nutrientes (FAO, 1995).

Este aspecto negativo a menudo viene provocado por prácticas agrícolas insostenibles como por ejemplo un pastoreo excesivo, cultivo de cosechas más proclives a la erosión, una utilización continua de maquinaria pesada que destruye la estructura del suelo debido a la compactación, así como el empleo de sistemas de riego insostenibles que provocan la salinización y erosión de las áreas cultivadas (Blum, 2009).

En la provincia de Holguín el factor antrópico es el principal desencadenante de los procesos de degradación, debido fundamentalmente al mal manejo de los suelos, y pueden influir también los factores climáticos y genéticos (Corella et al., 2002).

En las regiones tropicales la erosión hídrica constituye el proceso de degradación de suelos más importante. Su magnitud depende, en primer lugar, de la energía cinética de las precipitaciones y del agua de escorrentía. Igualmente, también incide el relieve, pues el grado y la longitud de la pendiente aceleran la velocidad del escurrimiento superficial. Sobre esta forma de erosión influye, además, la susceptibilidad del suelo al desprendimiento y arrastre de partículas y el uso y manejo del medio edáfico (Moreira, 2014).

3.2-HIDROMORFÍA

Hidromorfía, como su nombre lo indica, quiere decir formación bajo la influencia del agua y está relacionada con condiciones de drenaje deficientes principalmente en paisajes llanos o formas del relieve cóncavo, es un indicador del drenaje del suelo. La hidromorfía es un proceso que provoca efectos en todos los componentes del sistema suelo - planta - atmósfera, afectando desde el hábitat de los organismos vivos hasta la transformación de los minerales y compuestos químicos. (Ponce de León y Balmaseda, 1999).

Los procesos de reducción comienzan cuando el oxígeno disminuye drásticamente debido al desplazamiento por el agua del aire contenido en los poros del suelo. En estas condiciones el oxígeno remanente es disputado por las raíces y la microflora edáfica, acelerando su depresión, lo que hace caer bruscamente el potencial Redox. Cuando este proceso ocurre en suelos con

suficiente contenido de materia orgánica el efecto de caída del potencial Redox continúa, por la reducción de los nitratos, el manganeso, el hierro y finalmente del azufre. El proceso descrito depende, claro está, del contenido de oxígeno del agua. (Ponce de León y Balmaseda, 1999).

En los suelos de baja permeabilidad que ocupan superficies llanas o depresiones del relieve, el agua se acumula en la superficie o en la parte media del perfil cuando existe algún horizonte denso que limita su infiltración. Otra vía por la que el agua alcanza a saturar el perfil del suelo es por elevación de un manto freático. (Ponce de León y Balmaseda, 1999).

3.2.1.-EFECTO SOBRE EL CULTIVO

Aunque la caña de azúcar se considera un cultivo tolerante al anegamiento (Pizarro, 1985) su efecto provoca mermas considerables en la producción, directamente proporcionales al tiempo de duración, el tipo de suelo y el período de desarrollo del cultivo. Las principales afectaciones son:

- en la actividad fotosintética,
- en la producción de sacarosa,
- plantaciones con tallos más delgados y entrenudos más cortos,
- disminución de la masa de raíces,
- desarrollo de enfermedades ocasionadas fundamentalmente por hongos.

Por otra parte, existen diferencias en la respuesta de diferentes variedades de caña de azúcar y en las fases del período vegetativo ante el exceso de humedad por un tiempo prolongado, así se ha encontrado que la brotación es más sensible que el ahijamiento (Cadavid et al., 1989).

3.3.-EROSIÓN

La erosión es un proceso degradante de los suelos y en su desarrollo intervienen numerosos factores. Desde que una porción de tierra emerge del mar, un sedimento aluvial es depositado o un torrente de lava queda expuesto en la superficie de la

tierra, comienzan a actuar sobre él los agentes exógenos: la atmósfera, las aguas superficiales y otros, en un ciclo geológico de destrucción y nueva formación.

Con la irrupción del hombre y su actividad económica comienza la erosión acelerada, que a diferencia de la erosión geológica natural (con la excepción de cataclismos), puede provocar pérdidas irreparables. En Cuba como en otros países la deforestación ha jugado un papel decisivo. En nuestro caso, el desmonte indiscriminado ha estado muy ligado al desarrollo de la industria azucarera (Ascanio y Riverol, 1983).

3.3.1.-EFECTO SOBRE EL CULTIVO

La erosión provoca el empobrecimiento paulatino de los suelos arrastrando las partículas más finas, sales solubles, materia orgánica y nutrimentos, a la vez que favorece la disminución de la capacidad de retención de humedad de los suelos, es decir, disminuye la fertilidad y la profundidad efectiva.

En suelos erosionados es frecuente observar síntomas cloróticos en las plantaciones, provocados tanto por el déficit hídrico como de nutrimentos.

Un suelo bien abastecido de nutrimentos permite un mejor crecimiento y desarrollo de los cultivos y por ende una mayor protección contra la erosión.

3.4.-SALINIZACIÓN

Otro de los factores limitantes en los Vertisoles es la salinización, provocada por la acción antropogénica, la cual puede afectar seriamente terrenos de cultivos de buena productividad por efecto acumulativo de las sales durante la explotación agrícola de áreas susceptibles a la salinización, por la extracción excesiva de agua de los pozos en época de sequía y la práctica de aplicación de altas dosis de fertilizantes químicos en suelos de mal drenaje y con manto freático alto (Alvarez, 2002).

3.4.1.- EFECTO SOBRE EL CULTIVO

La caña de azúcar es un cultivo medianamente tolerante a la salinidad, como demostró Cabrera (1992). El principal efecto asociado a la presencia de altos contenidos de sales solubles en la zona radical es que se dificulta la absorción de

agua por aumento de la presión osmótica, así como el efecto tóxico de las sales de la solución del suelo, lo que se agrava con la falta de humedad.

En esto juega un papel importante la composición mecánica de los suelos afectados, por su influencia sobre la capacidad de retención de humedad. Así, un suelo arenoso comparado con un suelo arcilloso, a un mismo nivel de sales, tiene una mayor concentración de la solución, lo que provoca un mayor daño.

3.5.- PROFUNDIDAD EFECTIVA

La Profundidad Efectiva (PE) es el factor que determina la profundidad a la que las raíces pueden penetrar de acuerdo con sus características botánicas sin encontrar barreras físicas o químicas.

3.5.1-EFECTO SOBRE EL CULTIVO

La PE es una de las características de la tierra que más influye en el desarrollo radical de los cultivos.

En cuanto a la naturaleza y magnitud del sistema radical de las diferentes variedades y su relación con el rendimiento agrícola, van Dillewijn (1972) plantea que prácticamente ésta no existe, su importancia radica en la adaptabilidad de las variedades a condiciones particulares de crecimiento (suelo húmedo, seco, etc.). Señala además que las diferencias varietales en el desarrollo de la raíz no son constantes durante todo el período de crecimiento.

En los experimentos de campo de Roldós et al. (1985) en suelos con PE menor que 40 cm (producto de la presencia de horizontes de rocas calizas), con altos valores de CIC y bien abastecidos de fósforo y potasio, a los que además se les aplicaron diferentes dosis de estos nutrimentos, obtuvieron resultados bajos (28.27 a 38.66 t de caña/ha) y demostraron que hubo una respuesta significativa a la fertilización, cuestión ésta que ellos explican por el poco espesor del suelo que impide a las raíces explorar profundidades mayores de 40 cm, sin embargo es conocido que las raíces de la caña de azúcar se expanden lateralmente (Reynoso, 1862).

3.6.-COMPACTACIÓN

La compactación del suelo es la densificación o reducción del volumen del espacio poroso, lo cual está asociado a cambios en la estructura del suelo y usualmente al incremento de las tensiones, así como la reducción de la conductividad hidráulica, esta causa problemas en la producción de los cultivos. Existen dos tipos principales de compactación: la superficial que se produce a poca profundidad y es provocada fundamentalmente por el tráfico de las máquinas menos pesadas, como las empleadas en la mejora y acondicionamiento del terreno; la profunda que es causada por el tráfico de la maquinaria pesada, alcanzando profundidades hasta el nivel del subsuelo (Euskadi, 2008).

Henin et al. (1960), consideran que la compactación es el proceso de degradación de la estructura donde pueden formarse terrones densos que se sueldan para constituir capas compactas en el interior del suelo o en superficie.

También se conoce como compactación al proceso de aumento de la densidad aparente del suelo, como respuesta a la aplicación de una fuerza externa (Bowen, 1981).

La compactación está también asociada a la baja estabilidad estructural del suelo frente al agua, lo cual causa el adensamiento. Un suelo con estructura débil aumenta su cohesión entre partículas, lo que disminuye la independencia de cada agregado y microagregado, con lo cual se reduce el espacio poroso y se hace más susceptible a la compactación o adensamiento (Gavande, 1982).

Otros factores que influyen en la compactación de los suelos son: bajos contenidos de materia orgánica, suelos desprotegidos, altas concentraciones de sodio y de otros agentes dispersantes, historia antecedente de la humedad del suelo (Lal, 1996), el manejo de los suelos, los sistemas de cultivo y las condiciones climáticas (Voorhees, 1987).

La compactación del suelo es potencialmente la mayor amenaza para la productividad agrícola. A medida que se incrementa la compactación disminuye el espacio poroso, especialmente a nivel de los macroporos, los cuales están ocupados por el agua útil. La infiltración también se ve afectada pues disminuye la permeabilidad de la capa compactada. Cuando la compactación ocurre en la capa

superficial se produce un incremento de la escorrentía disminuyendo la capacidad de filtración del agua (Lara et al., 2011).

4.-LA CAÑA DE AZÚCAR

Aunque son variadas las versiones sobre el origen de la caña de azúcar, algunas investigaciones suponen que el centro del origen es Nueva Guinea, desde donde emigro a otras zonas como Filipinas, Hawái, Las Molucas, Borneo, Sumatra, Malaya, Indochina, Birmania, La india, Las Islas Salomón, Las Nuevas Hebridas, Fiji, Raiatea y Tahití.

De acuerdo a algunos historiadores cuando Alejandro Magno y sus tropas conquistaron la India en el año 327 a.c., probaron por primera vez azúcar de caña y la llevaron de regreso a Persia. Una vez introducida, los árabes la llevaron al norte de África y al sur de Europa, al tiempo que los chinos extendían los cultivos hacia Java y Las Filipinas, los cruzados la transportaban a Francia en los siglos XI y XII y su desarrollo comercial se extendió al resto del continente europeo.

El nombre de Saccharum proviene de las Karkara y sakkara que a su vez significa (**grava negra**) en referencia a los cristales de azúcar que se forman en el jarabe oscuro al extraer los jugos de la caña. (ASOCAÑA.1995-1996)

4.1.-FERTILIZACIÓN

La caña de azúcar *Saccharum officinarum*, es una planta que anualmente en cultivo absorbe altas cantidades de nutrientes del suelo, los cuales se deben reincorporar mediante la aplicación de algunos fertilizantes minerales. En los cultivos de la caña de azúcar en el departamento de Santander, se aplica abono orgánico en la fase inicial del cultivo en el establecimiento (porquinaza y gallinaza y demás) mezclada con los correctivos necesarios para el control y manejo de la acidez de los suelos.

En Antioquia se incorporan productos orgánicos en promedio de 10 toneladas por hectárea y yeso, como correctivo, en un promedio de 5 toneladas por hectárea en la fase inicial del cultivo.

Después de los 90 días y posteriormente a los 120 días, según los requerimientos de los análisis de suelos, se hace aplicación de fertilizantes solos o compuestos, como úrea con cloruro de potasio, fosforo y una pequeña variedad de elementos menores con una buena aceptación del cultivo y mostrando un notable desarrollo de las plantas que se refleja en los rendimientos de los procesos de producción de panela.

Se utilizan productos químicos de tipo comercial como 15-15-15 y 12-24-12 y 228-8 y son aplicados en un promedio de 8 a 12 bultos (50 kilos) por hectárea. (ICA 2011).

4.2.-LABORES CULTURALES

Se recomienda que el manejo de arvenses debe hacerse en el periodo más crítico, el cual es hasta el macollamiento (momento en el cual la caña empieza a emitir retoños o nuevos brotes aproximadamente a los 3 meses de edad de la caña) y se hace un desyerbe manual.

Durante los siguientes 4 o 5 meses después del macollamiento de la planta, es necesario realizar labores culturales como el deshoje y desyerbe, normalmente estas actividades de desyerbe se realizan de manera manual y en la fase inicial del cultivo, la utilización de herramientas es necesaria y útil en los primeros meses del cultivo, después de un año más o menos y debido al crecimiento de las plantas es necesario solo en el deshoje y en las labores de corte. (CORANTIOQUIA. 2002)

4.3.-PAPEL QUE DESEMPEÑA EL P EN LA CAÑA DE AZÚCAR

El P es crítico en el metabolismo de las plantas, desempeñando un papel importante en la transferencia de energía, respiración y fotosíntesis (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1996; Grant y col., 2001). También influye en el proceso de maduración (Agete y Piñero, 1946; King, 1968; NationalPak, 2004), promoviendo la síntesis y acumulación de sacarosa (Humbert, 1965; Sreewarome y col., 2005).

Este elemento es un componente estructural de los ácidos nucleicos, de los genes y cromosomas (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1996; Grant y col., 2001). Por

esta razón, el P está íntimamente relacionado con la herencia o transferencia de información genética durante todo el desarrollo de la planta (Instituto de la Potasa y el Fósforo, 1996).

El P forma parte de muchas coenzimas, fosfoproteínas y fosfolípidos (Grant y col., 2001), juega un importante rol en el desarrollo de las raíces (Agete y Piñero, 1946; Cuéllar y col., 2002; NationalPak, 2004; Sreewarome y col., 2005), en la formación de proteínas (Humbert, 1965) y en la clarificación industrial del jugo de la caña de azúcar (Agete y Piñero, 1946; Fogliata, 1995; NationalPak, 2004).

Un gran número de estudios han demostrado que el suplemento de P en la parte inicial de la vida de la caña de azúcar es determinante para el óptimo rendimiento del cultivo (King, 1968; Calderón y Chaves, 2003; Grant y col., 2001), ya que en esta etapa influye sobre la brotación (Cuéllar y col., 2002), el ahijamiento primario y el crecimiento de los tallos (Van Dillewijn, 1965; King, 1968; Cuéllar y col., 2002; Sreewarome y col., 2005).

4.4.-RESPUESTA DE LA CAÑA DE AZÚCAR ANTE LAS APLICACIONES DE P

La respuesta positiva de la caña de azúcar ante la aplicación de fertilizantes fosfóricos ha sido señalada por muchos autores en la mayoría de los países productores de caña de azúcar del mundo. La magnitud y forma de expresarse en el cultivo difiere entre las distintas fuentes consultadas.

En Tailandia, la aplicación de P influyó positivamente el crecimiento de tres variedades de caña de azúcar, favoreciendo la producción de materia seca, el peso de los tallos, el área foliar, crecimiento y la altura de la plantación (Sreewarome y Col., 2005).

En Bangladesh, la aplicación de P incrementó significativamente la población de tallos, lo cual se reflejó positivamente en el rendimiento agrícola y en la rentabilidad de la plantación. Además, la utilización de dosis crecientes de P mejoró la extracción de otros nutrientes por el cultivo, como K y S (Bokhtiar y Sakurai, 2003).

En Cuba, el incremento productivo máximo con la aplicación de P, reportado por Villegas (1981), osciló entre el 12 y 16%. Desde el punto de vista industrial, la utilización de P ha promovido la disminución del contenido de almidón en el jugo y favorecido el proceso de clarificación (De León, 1990).

En otros reportes de investigaciones realizadas en Cuba, Concepción y col. (2000), observaron que las aplicaciones de P que en suelos Ferralíticos del género cuarcítico, aumentaron los contenidos de este elemento en el jugo, mejoraron el pol y la pureza, y disminuyeron el contenido de N.

El incremento beneficioso del contenido de P en el jugo, debido a aplicaciones crecientes de P, fue señalado también por García (1987) y De León (1990), en estudios realizados en las provincias cubanas Camagüey y Ciego de Ávila, respectivamente. Estos resultados coincidieron con los obtenidos en Tailandia por Sreewarome y col. (2005).

Respuestas favorables de la caña de azúcar ante la adición de P han sido indicadas, además, en Brasil (Malavolta, 1982), China (Hongwei y col., 2003), Costa Rica (Leiva, 1986; Barrantes y Chaves, 1999), Estados Unidos (Rice y col., 2002), India (Srivastava, 2004), México (Palma-López y col., 2002), Pakistán (FAO, 2004) y en Venezuela (FONAIAP, 1986).

En sentido general, la presencia y/o magnitud de la respuesta de la caña de azúcar ante aplicaciones de P ha sido asociada a los siguientes factores: propiedades del suelo, clima, variedades, cepa y edad de la plantación, así como, rendimiento esperado.

4.5. INFLUENCIA DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO

Según Van Dillewijn (1965), el efecto del P sobre la caña de azúcar depende en primera instancia del contenido de formas asimilables en el suelo. Este criterio es compartido por Villegas y col. (1986), Pineda (2002) y Cuéllar y col. (2002).

Se conoce que más del 25% de los suelos de las regiones tropicales y subtropicales son altamente deficientes en P-asimilable (Sánchez y Logan, 1992). Un ejemplo de ello es Brasil, donde son muy comunes deficiencias severas de P y

no se concibe una producción económica de caña de azúcar sin la adición de importantes cantidades de fertilizantes fosfóricos (Filho, 1996). Así mismo, en Tailandia se han identificado las deficiencias de P en el suelo como una de las principales causas de los bajos rendimientos que percibe ese país (Sreewarome y col., 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó durante el 3er ciclo de un experimento con un diseño de bloque al azar (8 tratamientos x 6 repeticiones). Se estudió la variedad C120-78, plantada en un Vertisol Crómico gléyico en profundidad en el Área Experimental km 27, perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de Holguín. Las muestras fueron tomadas una semana antes de la cosecha de las cepas 1er, 2do, 3er y 4to retoño en los surcos 2 y 3 de cada una de las 8 parcelas correspondientes a la 3ra repetición. Para conformar las muestras se seleccionaron 5 plantas (tallo y cogollo) por cada surco. Los tratamientos evaluados, con una dosis de fondo de 120 kg ha⁻¹ de N y 120 kg ha⁻¹ de K, fueron los siguientes:

T II: 120-0-120 (testigo)

T III: 120-50-120 (anual desde el 2do ciclo)

T IV: 120-50-120 (anual desde el 3er ciclo)

T V: 120-25-120 (anual)

T VI: 120-50-120 (anual)

T VII: 120-125-120 (al inicio de cada ciclo)

T VIII: 120-250-120 (al inicio de cada ciclo)

Al cogollo de las muestras se le determinaron los porcentajes de materia seca, nitrógeno, fósforo y potasio; se realizó un conteo de tallos en cada una de las parcelas para expresar los porcentajes en magnitudes de masa (t ha⁻¹ y kg ha⁻¹). Se efectuó un Análisis de Varianza de clasificación simple mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan a un 95% de probabilidades, para determinar si el conjunto de tratamientos considerados produce un efecto estadísticamente diferenciado en cuanto al comportamiento de los mismos en cada una de las variables analizadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra que las dosis que propiciaron una mayor cantidad de materia seca en el cogollo de las plantas fueron 120-50-120 anual (T VI), 120-125-120 al inicio de cada ciclo (T VII) y 120-25-120 anual (T V), con 9.56, 9.53 y 9.31 t ha⁻¹, respectivamente. Sin embargo no se encontraron diferencias significativas entre estos tratamientos y aquellos en los que se fertilizó con 120-250-120 al inicio de cada ciclo (T VIII, con 8.92 t ha⁻¹), 120-50-120 anual desde el 2do ciclo (T III, con 8.59 t ha⁻¹), 120-50-120 anual desde el 3er ciclo (T IV, con 8.22 t ha⁻¹) y 120-0-120 testigo (T II, con 8.13 t ha⁻¹). Los tres primeros tratamientos mencionados sí difieren de forma significativa del testigo absoluto (T I), el cual sólo produjo 7.55 t ha⁻¹ de materia seca en la parte aérea a dejar en el campo.

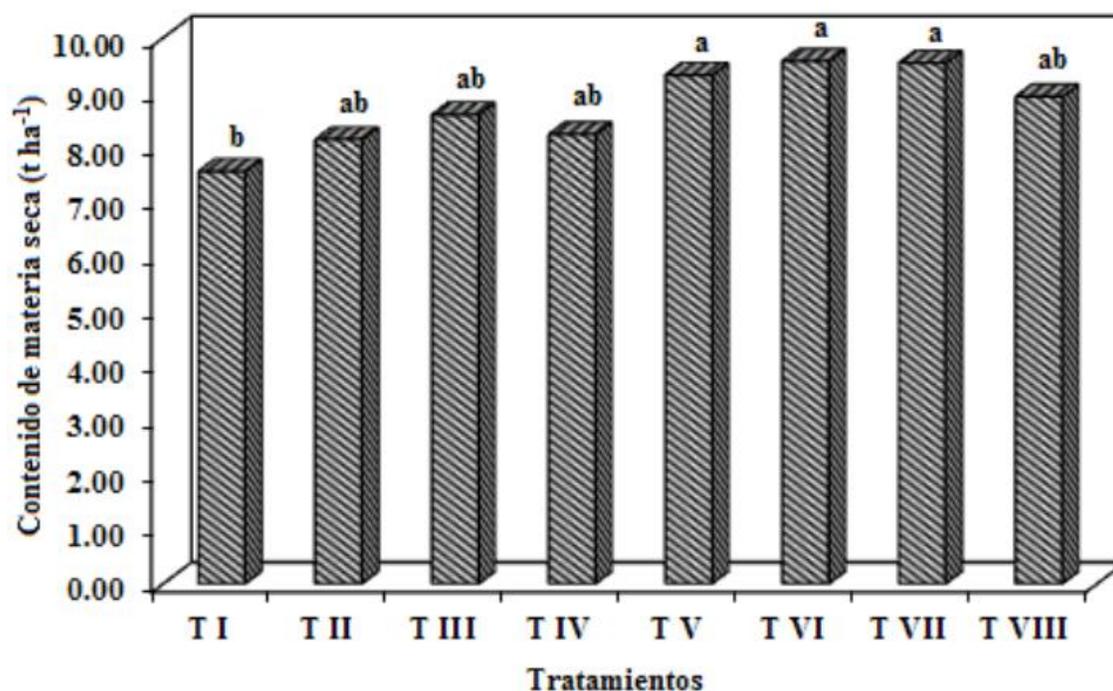


Figura 1.- Influencia de la dosis de fertilizante fosfórico en la producción de materia seca.

Salgado et al. (2011) en Vertisoles del estado de Tabasco (México) que ocupan 42 030 ha pertenecientes al ingenio “Benito Juárez” y plantados con caña de azúcar, encontraron un contenido de materia seca de 4.75 y 6.01 t ha⁻¹ en la paja de este

cultivo, en dependencia de la unidad de suelo comprendido dentro del gran grupo mencionado.

La Figura 2 muestra que los mejores resultados, se obtuvieron en el 2do retoño (12.28 t ha⁻¹ de materia seca), con diferencias altamente significativas con el resto de las cepas. Un comportamiento intermedio se determinó en el 3er y 4to retoños, con 8.61 y 8.26 t ha⁻¹, sin que se encontraran diferencias significativas entre ellos. Los más bajos resultados (5.75 t ha⁻¹) se apreciaron en la soca.

El comportamiento de la producción de materia seca a todo lo largo del ciclo está dado por la producción de tallos en cada una de las cepas. Toledo et al. (2008) en un suelo Haplic Feozem plantado con caña de azúcar en el estado de Chiapas (México) encontraron una relación lineal y directa entre el número de tallos producidos por este cultivo y la cantidad de materia seca aportada al suelo a partir de los residuos agrícolas.

El-Tilib et al. (2004), en Typic Chromusterts plantados con caña de azúcar y ubicados dentro de la zona tropical cálida semiárida del centro de Sudán, encontraron una alta respuesta de este cultivo a la fertilización con fósforo. Los rendimientos agrícolas, tanto en caña planta como en retoños, se incrementaron notablemente debido a la aplicación de este nutriente.

Las constantes incorporaciones de los restos de cosecha al suelo implican un aumento de la materia orgánica del mismo (Bertsch, 1998). Este incremento, según Cabrera et al. (2001) y Cabrera et al. (2002), permite el mejoramiento del estado estructural de los Vertisoles, lo cual conlleva al aumento de la capacidad de conducción hídrica y aireación, por lo que incide sobre las posibilidades agroproductivas de los mismos.

También Boivin et al. (2009), en estudios realizados en Senegal sobre un Vertisol plantado con arroz, determinaron que existe una notable influencia de la materia orgánica del suelo sobre la estabilidad hidro-estructural, el volumen específico aparente y la porosidad estructural.

De la misma forma, Graham et al. (2002), en un experimento de larga duración de caña de azúcar, plantado sobre un Vertisol Crómico sudafricano, en el que durante

59 años los tratamientos fueron (i) quema y eliminación de los residuos, (ii) quema y conservación de los residuos y (iii) conservación de los residuos sin quemar, encontraron que el contenido de carbono en los primeros 10 cm de profundidad era mayor donde se cosechaba verde y se conservaban los residuos. En este mismo tratamiento también era mayor la estabilidad de los agregados, lo que revalida la importancia de la materia orgánica como factor de estructuración de los suelos. A resultados similares, con respecto a la cosecha verde de la caña de azúcar y la conservación de los residuos en el campo y la influencia positiva de este tipo de manejo sobre la materia orgánica del suelo, arribaron Cerri et al. (2011).

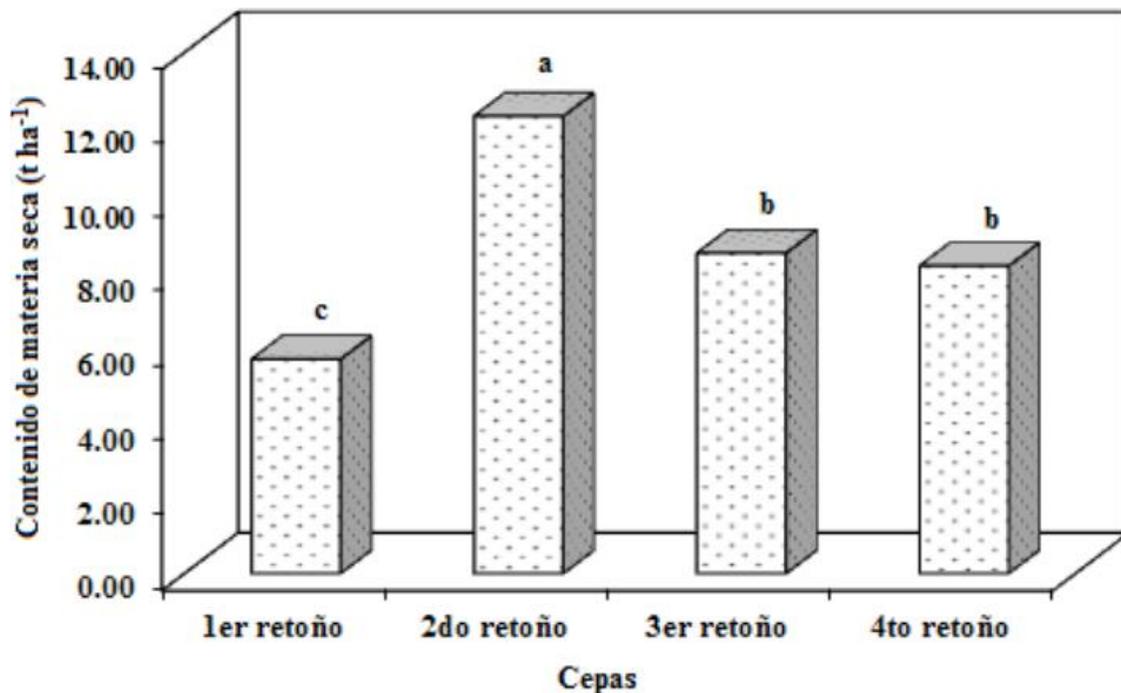


Figura 2.- Influencia de la cepa en la producción de materia seca. Los constantes aportes de materia seca procedente de los residuos de cosecha dejados en el campo, disminuyen los efectos de la compactación a la que, según González et al. (2006), son tan propensos los Vertisoles debido al tráfico de la maquinaria agrícola durante la cosecha.

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos al evaluar la materia seca en la interacción fertilización*cepa.

El 2do retoño agrupó de forma general, a las interacciones con mejores resultados; destacándose aquellas donde se fertilizó con 250 (residual), 125 (residual) y 50 (anual desde el 2do ciclo) kg ha⁻¹ de P. Entre los que no existen diferencias significativas. En esta cepa, todos los resultados, excepto los obtenidos en el testigo absoluto, superan las 11 t ha⁻¹ de materia seca. El comportamiento de los tratamientos donde se evalúa el efecto residual del fósforo puede estar dado por la poca movilidad de este elemento y a la casi nula erosión que presentan los Vertisoles. Todas las interacciones difieren de forma altamente significativa, excepto aquella donde se aplican 50 kg ha⁻¹ de fósforo todos los años, con el testigo absoluto.

Un comportamiento diametralmente opuesto se observa en las interacciones de las dosis de fertilización con la cepa 1er retoño, la cual tuvo los más bajos tenores de materia seca en el cogollo de las plantas. Aquí se encontraron diferencias altamente significativas con respecto a las interacciones que corresponden al 2do retoño, excepto en el testigo absoluto.

Tabla 1.- Producción de materia seca en las interacciones fertilización*cepa.

Tratamientos	Materia seca (t ha ⁻¹)			
	1 ^{er} retoño	2 ^{do} retoño	3 ^{er} retoño	4 ^{to} retoño
0-0-0 testigo absoluto	5.83jkl	8.70fghijk	8.41fghijk	7.25hijkl
120-0-120 testigo	5.57kl	11.38cdef	8.03ghijk	7.55ghijkl
120-50-120 anual desde el 2 ^{do} ciclo	5.86jkl	12.71abc	9.80cdefgh	5.99ijkl
120-50-120 anual desde el 3 ^{er} ciclo	6.24ijkl	11.86bcde	7.15hijkl	7.64ghijkl
120-25-120 anual	5.73kl	12.27bcd	8.94efghij	10.31cdefgh
120-50-120 anual	6.46ijkl	11.47cdef	9.83cdefgh	10.49cdefg
120-125-120 al inicio de cada ciclo	5.58kl	14.70ab	10.16cdefgh	7.69ghijkl
120-250-120 al inicio de cada ciclo	4.77l	15.20a	6.53ijkl	9.16defghi

La Figura 3 muestra que el nitrógeno contenido en la materia seca de la biomasa aérea que aporta al suelo la caña de azúcar no tuvo diferencias significativas en los tratamientos V, VII y VI (todos con 75 kg ha⁻¹), que fueron los de mayores

resultados. Tampoco se encontraron diferencias entre dichos tratamientos y T IV, T VIII y T III (67, 66 y 64 kg ha⁻¹ de N, en cada caso). Los tratamientos testigo y testigo absoluto fueron los de menor contenido de nitrógeno en la materia seca del cogollo de la caña de azúcar (60 y 56 kg ha⁻¹, respectivamente).

En el caso del fósforo los mejores tratamientos fueron T III, T V, T VI, T VII, T IV y T VIII, cuyos contenidos del nutriente antes mencionado oscilaron fueron de 13 kg ha⁻¹ los cuatro primeros y 12 kg ha⁻¹ los dos últimos. Entre estos tratamientos no se encontraron diferencias significativas. Los más bajos tenores de P se observaron en los tratamientos testigo absoluto y testigo (9 y 8 kg ha⁻¹, respectivamente), los cuales no difieren estadísticamente entre ellos, pero si muestran diferencias altamente significativas al compararlos con los tratamientos de mayor contenido de fósforo.

Pérez et al (2003) plantean que luego de realizar 12 cosechas consecutivas en un experimento de larga duración de caña de azúcar plantada sobre un Vertisol en la provincia de Villa Clara, se comprobó que los niveles de fósforo habían descendido en el tratamiento sin fertilizar desde 10.41 hasta 4.32 mg kg⁻¹ de este nutriente.

Un proceder similar al observado con el nitrógeno tuvieron los tratamientos T VII, T VI y T V en lo que atañe al potasio, pues fueron los de mayor contenido de K en la materia seca de la biomasa aérea de la caña de azúcar (184, 183 y 177 kg ha⁻¹, correspondientemente). No se encontraron diferencias significativas entre ellos, ni con los tratamientos T VIII (167 kg ha⁻¹) y T IV (155 kg ha⁻¹). Los dos últimos tampoco manifestaron diferencias al ser cotejados con T II (145 kg ha⁻¹), T I (142 kg ha⁻¹) y T III (139 kg ha⁻¹).

Pérez et al. (1986) plantean que la cantidad de nutrientes que se incorporan al suelo luego de la demolición de los campos resulta considerable pues, en áreas cañeras del complejo agroindustrial "Espartaco" sobre un suelo Pardo, estos autores encontraron que con los rastrojos (compuestos por paja seca, cogollos y cañas secas y verdes que quedan después de cuatro cortes) ingresan al suelo 93.50, 70.00 y 164.50 kg ha⁻¹ de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente.

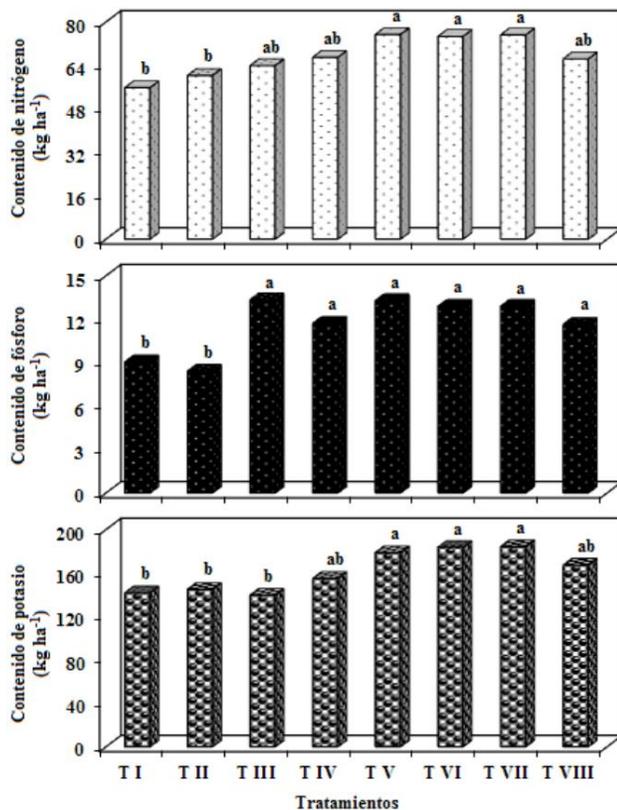


Figura 3.- Influencia de la fertilización fosfórica en el contenido de NPK en la materia seca.

La Figura 4 muestra que los mayores contenidos de nitrógeno se encontraron en el 3er y 2do retoños, con 83 y 80 kg ha⁻¹, en cada caso, de este nutriente contenido en la materia seca de los cogollos de la caña de azúcar. Sin diferencias significativas entre ellas, ni entre la última cepa mencionada y el 4to retoño (71 kg ha⁻¹). Todas las cepas mencionadas difieren de forma altamente significativa del 1er retoño (35 kg ha⁻¹).

Al evaluar el comportamiento del fósforo, se aprecia que los mayores valores se encontraron en el 2do retoño (16 kg ha⁻¹). Esta cepa difiere de forma altamente significativa de los resultados obtenidos en el resto del ciclo, donde le siguieron, en orden decreciente, el 3er y 4to retoños (con 13 y 12 kg ha⁻¹, respectivamente, y sin diferencias significativas entre ellos). La última posición la ocupó el 1er

retoño, con 6 kg ha⁻¹ de fósforo. Este nutriente fue el que en menor cantidad se encontró en la materia seca de los cogollos de la caña de azúcar.

El mayor contenido de potasio se obtuvo en el 2do retoño (230 kg ha⁻¹), seguido por el 3er, 4to y 1er retoños, con 175, 144 y 99 kg ha⁻¹, respectivamente. Entre todas las cepas se encontraron diferencias altamente significativas. El potasio fue el nutriente que en mayores cantidades se halló en la materia seca de la biomasa aérea que aporta el suelo la caña de azúcar.

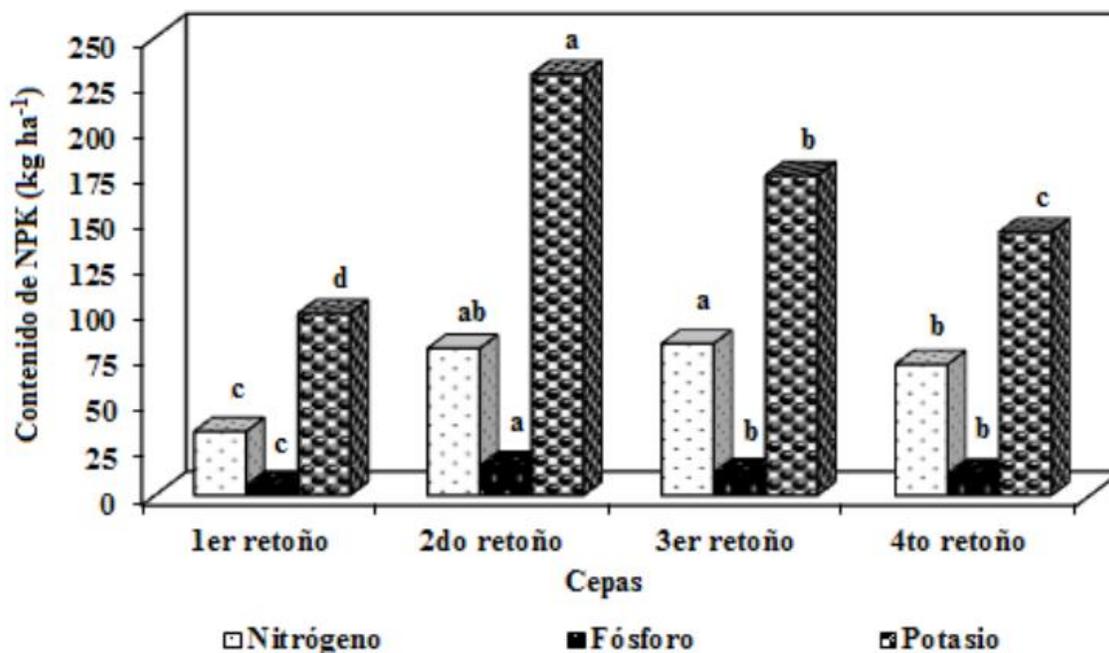


Figura 4.- Influencia de la cepa en el contenido de NPK en la materia seca.

La Tabla 2 muestra que la interacción en la que se encontró mayor contenido de fósforo en la materia seca del cogollo de la caña de azúcar fue donde se fertilizó con 125 kg ha⁻¹ de P al inicio de ciclo en el 2do retoño. Esta interacción no mostró diferencias significativas con las interacciones con 250 kg ha⁻¹ de P al inicio de ciclo en el 2do retoño, ni 50 kg ha⁻¹ del nutriente mencionado desde el 2do ciclo en el 3er y 2do retoños. Los peores resultados, independientemente del tratamiento, se concentraron en el 1er retoño. Estas interacciones no difieren de

forma significativa de las interacciones relacionadas con el testigo absoluto y el testigo en el 2do, 3er y 4to retoños.

Tabla 2.- Contenido de fósforo y potasio en la materia seca en las interacciones fertilización*cepa.

Tratamientos	Cepas			
	1 ^{er} retoño	2 ^{do} retoño	3 ^{er} retoño	4 ^{to} retoño
Fósforo (kg ha⁻¹)				
0-0-0 testigo absoluto	6lm	10ghijk	11ghijk	9hijkl
120-0-120 testigo	4m	12efghij	9ijkl	8jklm
120-50-120 anual desde el 2 ^{do} ciclo	7klm	18abc	19abc	9hijkl
120-50-120 anual desde el 3 ^{er} ciclo	7klm	16cde	12efghij	12efghij
120-25-120 anual	6lm	17bcd	14defg	17bcd
120-50-120 anual	6lm	16cde	13defgh	16cdef
120-125-120 al inicio de cada ciclo	5lm	21a	13defgh	12fghij
120-250-120 al inicio de cada ciclo	4m	20ab	9hijkl	13defghi
Potasio (kg ha⁻¹)				
0-0-0 testigo absoluto	104ijkl	178defgh	169defghi	116hijkl
120-0-120 testigo	94kl	200cdef	164defghij	122ghijkl
120-50-120 anual desde el 2 ^{do} ciclo	106ijkl	159efghijk	187cdefg	106ijkl
120-50-120 anual desde el 3 ^{er} ciclo	106ijkl	229bcd	144fghijkl	140fghijkl
120-25-120 anual	99jkl	253abc	183defgh	181defgh
120-50-120 anual	108ijkl	231bcd	200cdef	195cdef
120-125-120 al inicio de cada ciclo	94kl	288ab	217cde	137fghijkl
120-250-120 al inicio de cada ciclo	83l	301a	132fghijkl	152efghijkl

En cuanto al contenido de potasio la interacción más sobresaliente fue donde se fertilizó con 250 kg ha⁻¹ de fósforo al inicio del ciclo en el 2do retoño, la misma no difiere de forma significativa de los tratamientos con 125 kg ha⁻¹ al inicio del ciclo y 25 kg ha⁻¹ todos los años, ambos en el 2do retoño. La peor interacción donde se aplicaron 250 kg ha⁻¹ de fósforo al inicio del ciclo en el 1er retoño. Esta interacción no difiere de forma significativa del resto de los resultados donde las diversas dosis interactúan con el 1er retoño.

CONCLUSIONES

Los tratamientos que mayores contenidos de materia seca en el cogollo de las plantas mostraron fueron donde se fertilizó con fósforo a razón de 50 kg ha⁻¹ todos los años, con 125 kg ha⁻¹ al inicio de cada ciclo y con 25 kg ha⁻¹ todos los años. El peor tratamiento fue el testigo absoluto.

La cepa con mayor contenido de materia seca en el cogollo de la caña de azúcar fue el 2do retoño, dicho tenor mostró una tendencia a la disminución durante todo el ciclo; aunque los menores resultados se encontraron en el 1er retoño.

De forma general se apreció que, en cuanto al contenido de materia seca, la influencia de la cepa era mayor que la de la fertilización; las interacciones con mejor comportamiento se concentraron en el 2do retoño, en el extremo opuesto se encontraron las dosis que interactuaron con el 1er retoño.

En cuanto al nitrógeno, fósforo y potasio contenido en la materia seca, los mejores tratamientos coincidieron con aquellos donde la materia seca se encontró en mayores cantidades. De la misma forma se comportaron estos nutrientes al tener en cuenta la influencia de la cepa.

En el caso de las interacciones fertilización*cepa el nitrógeno no mostró diferencias significativas, no ocurre lo mismo en lo que respecta al fósforo y al potasio, donde nuevamente se evidencia que el efecto de la cepa es mayor que el de la fertilización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agete y Piñero, F. (1946). La caña de azúcar en Cuba. La Habana. Ministerio de Agricultura. Dirección de Estaciones Experimentales. Estación Experimental de la Caña de Azúcar. Tomo II. p. 363-403.
- Aini Azura, A., Fauziah, C. I. y Samsuri, A. W. (2012). Cadmium and zinc concentrations in soils and oil palm tissues as affected by long-term application of phosphate rock fertilizers. *Soil and Sediment Contamination*, 21, 586-603.
- Alejo, G., Salazar, F., García, J., Arrietta, B., Jiménez, Victor y Sánchez, A. (2012). Degradación físico-química de suelos agrícolas en San Pedro Launillas, Nayarit. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 15, 323-8.
- Álvarez, J. (2002). Caracterización y manejo de los principales factores edáficos limitantes de la agroproductividad de los suelos. Universidad Camilo Cienfuegos, Facultad de Agronomía, Matanzas, Cuba. p.31. and Tillage Research 29, 135-144
- Ascanio, O., M. Riverol y J. M. Pérez Jiménez. (1983). Antecedentes históricos de la erosión como fenómeno de empobrecimiento de los suelos cubanos. Rep. de Inv. Instituto de Suelos, ACC, 8. 13 p.
- Asociación de cultivadores de caña de azúcar de Colombia ASOCAÑA. Aspectos Generales Del Sector azucarero (1995-1996). p. 21-25.
- Bennett, H. H. y Allison, R. V. (1966). Los suelos de Cuba. Edición Revolucionaria. La Habana. p.375.
- Bertsch Hernández, Floria. (1998). La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. p157.
- Boivin, P., Schäffer, B. y Sturny, W. (2009). Quantifying the relationship between soil organic carbon and soil physical properties using shrinkage modeling. *European Journal of Soil Science*, 60. 265-275.

- Bokhtiar, S. M., Sakurai, K. (2003). Sugarcane response to soil phosphorus. *Better Crops International* 17 (1): 20-25, Mayo.
- Bowen, H. (1981). Alleviating mechanical impedance. In: *Modifying the root environment to reduce crop stress.*, in: H. M. Arkin G.F. & Taylor, eds (Ed.), American Society of Agricultural Engineers-ASAE, USA.
- Blum W. (2009). Soil degradation - concepts for bridging between science, politics and decision making. *Proceedings of the 1st International conference of Soil Degradation*, (2009), Febr 17-19; Riga, Latvia. p. 12.
- Cabrera, R. (1992). *Fundamento de las medidas para el mejoramiento y recuperación de los suelos salinos dedicados a caña de azúcar del Valle de Guantánamo.* Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas, INICA. Ciudad Habana, p.102.
- Cabrera, S., Fernández, Noemí y Abreu, E. O. (2001). Relación de los índices estructurales tradicionales con los criterios energéticos de evaluación del estado físico del suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 10 (2), 57-61.
- Cabrera, S., Pérez, C., Plá, Elena y Bernal, A. (2002). Permeabilidad y aereación en Vertisoles. I.- Relación con la materia orgánica y otros índices del estado físico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11 (2), 79-85.
- Cadavid, Lourdes, J. R. Martín Oria y Carmen Roche. (1988). Comportamiento de tres variedades de caña de azúcar sometidas a un exceso de humedad en el suelo. *Información INICA, Serie Riego y Drenaje*, 5(1), 44-51.
- Calderón A., G., Chaves, M. A. Verificación del efecto de la interacción del carbonato de calcio y el fósforo sobre los rendimientos agroindustriales de la caña, variedad Q96, en Tucurrique de Jiménez. Promedio de cuatro cosechas. En: Chaves, M. A (ed.). *Memorias del XV Congreso de la ATACORI (2003: Guanacaste, Costa Rica)*. p. 305311.
- Cerri, C. C., Galdos, M. V., Maia, S. M. F., Bernoux, M., Feigl, B. J., Powlson, D. y Cerri, C. E. P. (2011). Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon

stocks in Brazil: an examination of existing data. *European Journal of Soil Science*, 62, 23-28.

Chaves, M. Nutrición y fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica. Conferencia 78. XI Congreso Nacional Agronómico/ III Congreso Nacional de Suelos (9: 1999: Costa Rica). p.193-214.

Chaves, M. Fertilización de la caña de azúcar en Costa Rica: Experiencias de los últimos 20 años (periodo 1980-2000). En Chaves, M. A (ed.). Memorias de XV Congreso de la ATACORI (2003: Guanacaste, Costa Rica). p. 49-60.

Concepción, E., Hernández, J., Rubio, J., Weiss, N. (2000). Composición del jugo de la caña de azúcar cultivada en los suelos Ferralíticos cuarcíticos bajo diferentes alternativas de fertilizantes y enmiendas. *Cuba & Caña*. Resumen de los años 1990 y 2000. p. 29-32.

Corella, T., Andérez, M., Taboada, M. M y Taboada, M. T. (2002). Principales aspectos edafológicos de la provincia de Holguín (Cuba). *Uso y manejo de los suelos*. *Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe Coruña* 27, 103-115.

Cuéllar A., I. A., Villegas D., R., De León O., M. E., Pérez I., H. (2002). Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba. Ciudad de la Habana. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Publicinca, p. 127.

Cuéllar, I., de León, M., Gómez, A., Piñón, Dolores, Villegas, R. y Santana, I. (2003). *Caña de azúcar. Paradigma de sostenibilidad*. Ediciones Publicinca. La Habana, p. 175.

De León O., M. E. (1990). Caracterización agroquímica de los suelos y efecto de los fertilizantes en la producción de la caña de azúcar en la provincia de Ciego de Ávila. 100 h. (en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas) Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar.

Dirección General de Suelos y Fertilizantes. (1985). *Suelos de la provincia de Holguín*. Editorial Científico-Técnica. La Habana, p.212.

- El-Tilib, M. A., Elnasikh, M. H. y Elamin, E. A. (2004). Phosphorus and potassium fertilization effects on growth attributes and yield of two sugarcane varieties grown on three soil series. *Journal of Plant Nutrition*, 27 (4), 663-699.
- Euskadi (2008): Red de portales de la Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Compactación del suelo [en línea].
- FAO. Chapter 4 Fertilizer recommendations [En línea]. Fertilizer use by crop in Pakistan. FAO Corporate Document Repository. Disponible en: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/007/y5460e/y5460e08.htm [Consulta: enero 12, 2004].
- FAO. (1995). Comercio internacional, medio ambiente y desarrollo agrícola sostenible. En: El estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación.,
- FAO. (2017). *Portal de Suelos*. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/es/>
- FAO. (2006). World Reference Base for soil resources. A framework to International classification, correlation and communication. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, p.128.
- FAO-UNESCO. (1989). Soil map of the world, Revised Legend. FAO, Roma/ISRIC, Wageningen, p.138.
- Filho, J. O. (1996). Fertilización y productividad de caña de azúcar [En línea]. Fertilizar 3, julio. Disponible en: http://www.produccion.com.ar/96oct_07.htm [Consulta: septiembre 18, 2006].
- Fogliata, F. A. (1995). Agronomía de la caña de azúcar. Tucumán, Argentina. Ediciones El Graduado. Tomo III. p. 1086-1095.
- FONAIAP. (1986). Recomendaciones para la Fertilización en Caña de Azúcar [En línea]. FONAIAP DIVULGA: 20, octubre. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/bdigital/fdivul/fd20/texto/recomendaciones.htm> [Consulta: enero 13, 2004].

- Gao, X., Flaten, D. N., Tenuta, M., Grimmett, m. G., Gawalko, E. J. y Graham, Cynthia A. (2011). Soil solution dynamics and plant uptake of cadmium and zinc by durum wheat following phosphate fertilization. *Plant Soil*, 338, 423-434.
- García, E. (1987). Efectividad de la fertilización con NPK en caña de azúcar sobre suelos Pardos con carbonatos de la provincia de Camagüey. 118 h. Tesis (en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas)- Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
- Gavande, A. (1982). Física de suelos, principios y aplicaciones, México. González Cueto, O., Rodríguez Orozco, M. y Herrera Suárez, M. (2006). Compactación del suelo por tráfico de los medios de transporte durante la cosecha de caña de azúcar. *Centro Azúcar*, 33 (2), 85-88.
- Graham, M. H., Haynes, R. J. y Meyer, J. H. (2002). Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash on a long-term sugarcane experiment in South Africa. *European Journal of Soil Science*, 53, 589-598.
- Grant, C. A., Flaten, D. N., Tomaszewicz, D. J., Sheppard, S. C. (2001). Importancia de la nutrición temprana con fósforo. Instituto de la Potasa y el Fósforo. *Informaciones Agronómicas* (44), 1-5, julio.
- GUIA TÉCNICA PANELERA. Corporación autónoma regional del centro de Antioquia. (CORANTIOQUIA). (2002). p.4.
- Henin, S., Feodoroff, A., Gras, R. y Monnier, G. (1960). Le profil cultural: Principes de physique du sol. Paris, Masson, 320 p.
- Hernández Jiménez, A., Bojórquez Serrano, J. I., Morell Planes, F., Cabrera Rodríguez, A., Ascanio García, M. O., García Paredes, J. D. y Madueño Molina, A. (2010). Fundamentos de la estructura de los suelos tropicales. Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, p. 79.
- Hernández Jiménez, A., Pérez Jiménez, J. M., Ascanio García, O., Ortega, F., Ávila, L., Cárdenas, A. y Marrero, A. (1975). II Clasificación Genética de los suelos de Cuba. *Revista de la Agricultura*, 8(1), 47-69.

- Hernández Jiménez, A., Pérez Jiménez, J. M., Bosch Infante, D. y Castro Speck, N. (2015). Clasificación de los suelos de Cuba. INCA Ediciones, San José de Las Lajas. 91 p.
- Hernández Jiménez, A., Pérez Jiménez, J. M., Bosch Infante, D., Rivero Ramos, L. y Camacho Díaz, E. (1999). Nueva Versión de Clasificación Genética de los suelos de Cuba. AGRINFOR, Ministerio de la Agricultura. La Habana, p.64.
- Hongwei, T., Liuqiang, Z., Rulin, X., Meifu, H. 2003. Soil phosphorus status and Crop response in major cropping systems of Guangxi. *Better Crops International* 17 (1), mayo.
- Humbert, R. P. (1965). El cultivo de la caña de azúcar. La Habana. Editora Universitaria. p. 108-300.
- Instituto de la Potasa y el Fósforo. (1996). La importancia del fósforo en la salud del cultivo, en su calidad y en el medio ambiente. *Informaciones Agronómicas*. Edición para México y Norte de Centroamérica 1 (5), 5, abril.
- Instituto de Suelos, (2001). Programa Nacional de Conservación y Mejoramientos de Suelos. AGRINFOR, la Habana., 5-7, 11, 19,31-32 p.
- Instituto de Suelos. (1973). Génesis y clasificación de los suelos de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba, p. 315.
- Instituto colombiano agropecuario (ICA). (2011). Proyecto caña panelera. Manejo fitosanitario del cultivo de la caña panelera, medidas para la temporada invernal. Bogotá. DC, COLOMBIA: Autor. p. 21.
- Johnston, A. E. (2000). Soil and plant phosphate. *International Fertilizer Industry Association*. Paris, p. 46.
- King J., N. (1968). Manual para el cultivo de la caña de azúcar. La Habana. Edición Revolucionaria. Instituto del Libro. p. 94-113.
- Lara Coba, D., Herrera Suárez, M. y Iglesias Coronel, C. E. (2011). Sensoramiento continuo de la compactación del suelo: revisión y análisis. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3), 35-40.

- Leiva, J. (1986). Respuesta de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) a dosis crecientes de fósforo en un suelo de Pérez Zeledón. San José. 126 h. Tesis (En opción al Título de Ingeniero agrónomo)-- Universidad de Costa Rica. Facultad de Agronomía.
- Malavolta, E. (1982). Mineral Nutrition and Fertilization of Sugarcane [En línea]. Ultrafertil S.A., Sao Paulo, Brasil. Citado por: Srivastava, S. C. Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). Disponible en: <http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/html/pubman/sugcane.pdf> [Consulta: enero 13, 2004].
- Meyer, J., Rein, P., Turner, P. y Mathias, Kathryn. (2011). Good management practices manual for cane sugar industry. International Finance Corporation. Johannesburgo, p. 696.
- Moreira, B. (2014) Erosão hídrica pós-plantioem florestas de eucalipto nabacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul.Revista Brasileira de Ciência do Solo 38, 1565-1575.
- NationalPak. Sugarcane Fertilizer requirements [En línea]. Department of Agronomy.University of Agriculture, Faisalabad. Disponible en: http://www.nrf.ac.za/sajs/sm_may98.stm [Consulta: enero 13, 2004].
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación., Roma, Italia.Palma-López, D. J.; Salgado, S.; Obrador, J. J.; Trujillo, A.; Lagunas, L. C.; Zavala, J.; Ruiz, A.; Carrera, M. A. (2002). Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *TERRA*, 20(3), 347-358.
- Pérez Iglesias, H., Ruíz González, A. P. y Nohaya Rodríguez, J. R. (1986). Resultado preliminares sobre la cantidad de nutrientes que se incorporan al suelo con la demolición de los campos de caña. *ATAC*, 45 (2), 22-26.
- Pérez Izquierdo, M., de León Ortiz, M., González Hidalgo, Maribel y Villegas Delgado, R. (2003). Variación de la fertilización fosfórica con el tiempo en un agro-ecosistema cañero. *Centro Azúcar*, 30 (2), 117-120.

- Pineda, E. (2002). Factores asociados con la respuesta de la caña de azúcar ante los fertilizantes minerales. 132 h. Tesis (en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas)- Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
- Pizarro, F. 1985. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Editora Agrícola Española. Madrid. p. 542.
- Pla, I. y Nacci, S. (2001). Impacts of mechanization on surface erosion on mass movements in vineyards of the Anoia-Alt Penedes Area (Catalonia, Spain).
- Ponce de León, D. y Balmaseda C. (1999). El recurso suelo en el cultivo de la caña de azúcar. Instituto Nacional de Investigaciones de la caña de azúcar. La Habana, p. 115.
- Reynoso, A. (1862). Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar. Reedición Minaz Instituto del Libro, La Habana, 1963, p.465.
- Rice; R. W.; Gilbert; R. A.; Lentini, R. S. (2002). Nutritional Requirements for Florida Sugarcane. University of Florida. Institute of Food and Agricultural Sciences. Florida Cooperative Extension Service. Agronomy Department. SS-AGR-228 Document. p.1-9.
- Roldós, J., R. Rubio, R. Marín. (1985). Algunos factores edáficos limitantes de la producción de la caña de azúcar en Cuba. Mimeografiado, INICA, La Habana, Cuba. p. 62.
- Salgado García, S., Palma López, D. J., Zavala Cruz, J., Lagunes Espinoza, L. C., Castelán Estrada, M., Ortiz García, C. F., Juárez López, J. F., Ruiz Rosado, O., Armida Alcudia, L., Rincón Ramírez, J. A. y Córdova Sánchez, S. 2011. Un programa de fertilización sustentable para el Ingenio “Presidente Benito Juárez” en Tabasco, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 15 (3), 45-65.
- Sánchez, P. A., Logan, T. J. (1992). Myths and science about the chemistry and fertility of soils in de tropics. Madison: ASA/SSSA. p. 35-46.
- Soil Survey Staff. (2010). Key to Soil Taxonomy. 11th Edition. United States Department of Agriculture & Natural Resources Conservation Service. Washington, D.C, p. 346.

- Sreewarome, A., Toomsan, B., Limpinuntana, V., Jaisil, P., Rao, M. S., Krishnamurthy, M. Effect of phosphorus on physiological and agronomic parameters of sugarcane cultivars in Thailand. En: Hogart, D. M. (ed). International Society of Sugarcane Technologists Proceedings XXV Congress (2005: Guatemala City, 30 January-4 February: Guatemala) p. 126-132.
- Srivastava, S. C. Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) [En línea]. Disponible en: <http://www.fertilizer.org/ifa/publicat/html/pubman/sugcane.pdf> [Consulta: enero 13, 2004].
- Syers, J. K., Johnson, A. E. y Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: reconciling changing concepts of soil phosphorus behavior with agronomic information. FAO Fertilization Plant Nutrition Bulletin 18. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, p. 108.
- Toledo, E., Cabrera, J. A., Leyva, A. y Pohlan, H. A. J. (2008). Estimación de la producción de residuos agrícolas en agroecosistemas de caña de azúcar. *Cultivos Tropicales*, 29 (3),17-21.
- Van Dillewijn, C. (1972). Botánica de la Caña de Azúcar. Edición Revolucionaria, La Habana, Cuba, p. 459.
- Van Dillewijn, C. (1965). Botánica de la caña de azúcar. La Habana. Edición Revolucionaria. p. 316-319.
- Vargas, S. (2008). Rediseño, manejo y evolución de un agroecosistema de pastizal con enfoque integrado para la producción de leche bovina. Tesis presentada en opción del grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad Central Las Villas, Santa Clara, Cuba. p. 162.
- Villegas, R. (1981). El fósforo en los suelos y efectividad del empleo de los fertilizantes fosfóricos en la caña de azúcar en la República de Cuba. 108 h. Tesis (en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas)- Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar.
- Villegas, D. R., Pérez I., H., Cuéllar A., I. Ascanio G., López B., M.; Rubio L., R., Cabrera R., A. (1986). Fundamentos y guía metodológica para la utilización de

los fertilizantes nitrogenados, fosfóricos y potásicos en el cultivo de la caña de azúcar. Ciudad de la Habana. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. Boletín INICA (1), Edición Especial. p.47.

Voorhees, W.D. (1987). Assessment of soil susceptibility to compaction using soil and climatic data bases. Soil Tillage Res. 10, 29-38.

WRB. (2006). World reference base for soil resources. A framework for international classification, correlation and communication., in: W. S. R. Report (Ed.), IUSS-ISRIC and FAO (International Union of Soil Sciences-Information Soil Reference and Information Centre and Food and Agriculture Organization). Rome, Italy.

Zapata, F. y Roy, R. N. (2004). Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, p.148.