

**FACULTAD DE
CIENCIAS NATURALES y AGROPECUARIAS**

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

**Título: Materia seca y macroelementos primarios en la
biomasa foliar de la caña de azúcar fertilizada con
diferentes dosis de potasio.**

Autora: Yodailis Cedeño Cabrera

Tutor: Ms C. Juan Alejandro Villazón Gómez

CURSO 2022

RESUMEN

El trabajo consistió en determinar las cantidades de materia seca y de macroelementos primarios en la biomasa foliar que aporta al suelo la caña de azúcar fertilizada con diferentes dosis de potasio en un experimento con un diseño en bloques completos al azar (8 tratamientos x 6 repeticiones) sobre un Vertisol Crómico. Fueron cortadas 5 plantas antes de la cosecha de los 4 retoños en los surcos 2 y 3 de las parcelas de la 3^{ra} 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 parcela 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 probabilidad. El tratamiento V fue el de mayor contenido de materia seca, con 11,04 t ha⁻¹. La cepa 2^{do} retoño mostró el mayor contenido de materia seca en los cogollos, con 11,13 t ha⁻¹. En las interacciones puede apreciarse la mayor influencia de la cepa sobre la materia seca. El tratamiento V fue el de mayor contenido de nutrientes, con 83, 16 y 197 kg de NPK, respectivamente. En el caso del nitrógeno la mejor interacción fue el tratamiento V en el 3^{er} retoño, en el fósforo también el tratamiento V en el 2^{do} y 3^{er} retoños y el tratamiento IV en el 4^{to} retoño, en el potasio la interacción del tratamiento V en el 2^{do} retoño.

Palabras claves: Aportes de nutrientes al suelo, NPK, Residuos de cosecha.

ABSTRACT

The work consisted in determining the quantities of dry matter and primary macroelements on the foliar biomass that contributes to the soil the sugarcane fertilized with different fertilizer rates of potassium in an experiment with a design in complete blocks at random (8 treatments x 6 repetitions) on a Chromic Vertisol. 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; was carried out a count of sugarcane stalk in each plot to express the percentages in magnitudes of mass. Was executed an Analysis Of Variance of simple classification intervening the test of multiple status of Duncan to 95 % of confidence. The treatment the V was the one of bigger dry matter content, with 11.04 t ha⁻¹. The 2nd ratoon showed the bigger dry matter content in the sugarcane tops, with 11.13 t ha⁻¹. In the interactions the bigger influence of the sugarcane stubble phase on the dry matter can be appreciated. The treatment the V was the one of bigger nutrient content, with 83, 16 and 197 kg of NPK, respectively. In the case of nitrogen the best interaction was the treatment V in the 3rd ratoon, in the phosphorus also the treatment V in the 2nd and 3rd ratoons and the treatment IV in the 4th ratoon, in potassium the interaction of the treatment V in the 2nd ratoon.

Keywords: Contributions of nutrients to the soil, NPK, Residues of harvest.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1. Generalidades del cultivo de la caña de azúcar	3
1.1. Fases fenológicas del cultivo de la caña de azúcar	4
2. Funciones de los nutrientes minerales en las plantas	10
2.1. Extracción de nitrógeno, fósforo y potasio por la caña de azúcar	11
3. Fertilización potásica de la caña de azúcar	11
3.1. Origen del potasio en el suelo	11
3.2. Formas de potasio en el suelo	15
3.3. Dinámica de potasio en el suelo	17
3.4. Factores que afectan el equilibrio del K en el suelo	18
3.5. Importancia del potasio en el suelo	18
3.6. El papel del potasio en el crecimiento de la caña de azúcar.....	19
3.7. El papel del potasio en la traslocación de azúcares.....	20
3.8. El papel del potasio en la eficiencia del uso del agua por la planta	20
3.9. Síntomas de deficiencia de potasio en la caña de azúcar.....	21
3.10. El análisis de suelo y de planta como guías de la necesidad de potasio ...	22
MATERIALES Y MÉTODOS	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
CONCLUSIONES.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

INTRODUCCIÓN

El impacto negativo de las actividades agrícolas sobre el medio ambiente puede ser atenuado mediante manejos que permitan un aprovechamiento más eficiente del agua y los fertilizantes. En el caso de los agroecosistemas cañeros esta influencia se ve afectada por determinadas condiciones locales como son el tipo de suelo y los factores climáticos (Meyer *et al.*, 2011).

Los residuos de cosecha dejados en el campo constituyen una de las entradas relacionadas con el manejo que aportan materia orgánica y nutrientes al sistema químico del suelo (Bertsch, 1998). En el caso de la caña de azúcar, contienen una cantidad de nutrientes mucho más alta que los restos que se dejan quemar en el campo (Sandhu *et al.*, 2013) e incrementan los rendimientos agrícolas (Muñoz y Quintero, 2010). En países como Argentina, según Kwong (2010), es notable la diferencia entre dichos rendimientos en las áreas donde se incorporan los residuos de cosecha ($83,5 \text{ t ha}^{-1}$) comparados con aquellos donde los mismos son eliminados del campo ($53,7 \text{ t ha}^{-1}$).

La caña de azúcar es uno de los cultivos de más altos rendimientos en biomasa expresados en función del área y el tiempo. Además de reincorporar al suelo parte de los nutrientes extraídos del mismo durante su crecimiento, la fijación de CO_2 por parte de la planta es comparable a la de los bosques tropicales. Estas características la convierten en un cultivo paradigmático dentro de la agricultura sostenible (Cuéllar *et al.*, 2003). Su sistema radicular constituye para el suelo una importante fuente de materia orgánica, sin embargo, los mayores aportes provienen de la parte aérea de la planta (Carvalho *et al.*, 2013).

El potasio, a pesar de que numerosas investigaciones han esclarecido su función metabólica en las plantas, continúa como el nutriente que mayores conjeturas levanta entre los fisiólogos. Sin embargo, se acepta que el mismo participa directa o indirectamente en la mayoría de los procesos vitales de la caña de azúcar (Cabrera y Bouzo, 1999). Es el elemento que en mayores cantidades extrae del suelo este cultivo (García y Fernández, 2000; Kölln *et al.*, 2013, Villazón *et al.*, 2016) y uno de los que más limita sus rendimientos (Pérez *et al.*, 2011).

Por lo antes expuesto se plantea como **problema científico**:

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

La **hipótesis de la investigación**:

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

El **objetivo general**:

Evaluar las cantidades de materia seca y de macroelementos primarios en la biomasa foliar que aporta al suelo la caña de azúcar fertilizada con diferentes dosis de potasio.

Objetivos específicos:

Determinar el contenido de materia seca.

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

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Generalidades del cultivo de la caña de azúcar

La caña de azúcar es una planta *Poacea* perenne que se caracteriza porque durante su desarrollo capta grandes cantidades de energía, con la que forma carbohidratos y los transforma en azúcares. Forma un sistema vegetativo subterráneo del que nace un gran número de tallos, forman las llamadas cepas, estos son aprovechados al madurar para extraerles la sacarosa, obteniendo azúcar al ser procesado (Solórzano, 1998).

La caña de azúcar pertenece a la familia *Poaceae*, género *Saccharum*. Dicho género posee cinco especies, las cuales se diferencian en su número cromosómico, que es lo que proporciona la diversidad fenotípica siendo las siguientes:

- *Saccharum officinarum* L
- *Saccharum robustum*
- *Saccharum spontaneum* L

El sistema radicular de la caña de azúcar funciona como anclaje de forma cilíndrica; tiene un tallo leñoso de aproximadamente 6 cm de diámetro en la parte basal, posee un tejido esponjoso y dulce en el que se extrae la sacarosa. Es de altura variable (de acuerdo a la variedad oscila entre 2 a 3 m) y está formada por dos partes diferentes: nudos y entrenudos los que difieren o cambian con las diferentes variedades en longitud, diámetro, forma y color.

Las hojas son láminas largas, delgadas y planas que miden generalmente entre 0.9 a 1.5 m de largo y varía de 1 a 10 cm de ancho. Según la variedad, la vaina es de forma tubular más ancha en la base y gradualmente se estrecha hacia la banda ligular, las hojas están a menudo cubiertas con pelos; y la inflorescencia es una panícula formada por pequeñas flores perfectas y sedosas llamadas espigas (Solórzano, 1998).

El cultivo de caña de azúcar, comparado con otros cultivos comerciales, tiene muchos impactos positivos sobre el medio ambiente si es que se maneja adecuadamente. Su gran productividad de biomasa le permite fijar gran cantidad de carbono, se asocia con

bacterias que fijan el nitrógeno atmosférico y es una planta C- 4, de alta eficiencia en la fotosíntesis.

El desarrollo de la caña de azúcar depende en gran medida de la luz solar razón por la cual su cultivo se realiza en las zonas tropicales que poseen un brillo solar alto y prolongado. La clorofila existente en las células de las hojas de la caña absorbe la energía de la luz solar, la cual sirve como combustible en la reacción entre el dióxido de carbono que las hojas toman del aire y el agua que junto con varios minerales las raíces sacan de la tierra para formar sacarosa que se almacena en el tallo y constituye la reserva alimenticia de la planta, a partir de la cual fabrican otros azúcares, almidones y fibra (Solórzano, 1998).

1.1. Fases fenológicas del cultivo de la caña de azúcar

Camargo, (1976), en su texto “Fisiología de la Caña de Azúcar” trata del comportamiento de la caña en las diferentes etapas de desarrollo teniendo en cuenta los factores que influyen en ella, esas fases de desarrollo son heterogónica.

Fase de germinación o brotación

La germinación por lo general inicia entre la semana tres y cuatro después de la plantación. La rapidez de la germinación y el desarrollo de las yemas disminuyen a temperaturas inferiores a 18 °C en el suelo, y cuando ésta es de 6°C el desarrollo se detiene. La germinación finaliza con la manifestación de las raíces primordiales que son originarias de los meristemos radicales de la banda de raíces de los nudos del tallo de la semilla (Rivera, 2014).

El proceso de germinación tiene una duración de 30 días, hay que tener en cuenta que la duración depende del manejo de la humedad del suelo y el control de malezas. (Subiros, 2000). La fase de la germinación se extiende desde la siembra hasta completar la germinación de las yemas, bajo condiciones de campo la germinación inicia a los 7-10 días y se extiende hasta los 30-35 días (Marroquín, 2014). En la siembra es recomendable aplicar un fertilizante fosfórico al fondo del surco se realiza

con el fin de ayudar al desarrollo del sistema radicular, se lo debe hacer siempre y cuando en el suelo se justifica que exista una carencia o escasa presencia de este elemento (fósforo), que sea de difícil absorción por la planta (Subiros, 2000)

- Factores que influyen en la germinación son:

Factores externos

Preparación del suelo. Los beneficios que se logran al realizar una buena preparación de suelos son: la eliminación de las cepas y residuos de cosechas anteriores y por ende las malezas, favorece la actividad química y biológica, al suministrar el intercambio gaseoso que necesita la flora y la fauna del suelo; el control de las plagas del suelo, sepultando huevos como los de la salivosa, o exponiendo a la superficie larvas como los de Gallina ciega y Gusano alambre; mejora la infiltración del agua y el drenaje sub-superficial, rotura de las capas compactadas para facilitar la penetración y desarrollo de las raíces. (Melgar, *et al.*, 2014).

Siembra. Los trozos de caña de azúcar deben ser de tres a cuatro yemas, no se debe hacer la siembra con trozos con una sola yema debido a que los entrenudos y nudos son muros naturales para la infección y el traslado de las enfermedades, siendo esquejes de tres a cuatro yemas menos susceptibles al ataque de patógenos. El desarrollo de las plantas que provienen de trozos de una sola yema es menor y habitualmente los tallos tienen un grosor menor que aquellos de trozos de tres a cuatro yemas; la yema en posición inferior puede poseer cierta desventaja con respecto a la superior, el número porcentual de germinación no se reducen notablemente, aunque esto ocasiona un retraso en la germinación. Los brotes en las dos posiciones pueden igualarse en altura.

Temperatura. Para la germinación y emergencia de las plántulas varían entre 31 a 37 °C. Para poder obtener un buen rendimiento, la temperatura media es de 22 a 30 °C, con un mínimo de 20 °C. En otras regiones la temperatura media máxima oscila entre 30-33°C y la mínima es mayor de 6°C (Sánchez *et al.*, 2014).

El ambiente en que se ubica el trozo de caña es importante para la germinación. La temperatura, la humedad y las condiciones físicas del suelo se deben tener en cuenta para la siembra. Los trozos de caña contienen los nutrientes y agua necesarios para la germinación del brote principal, los niveles son deficientes para tolerar el crecimiento continuo del brote y de las raíces.

Para el proceso de germinación mucho depende de la temperatura y de la variedad. La germinación es muy lenta cuando la temperatura del suelo baja a los 17 o 18 °C y será muy precoz cuando la temperatura se aproxime a los 34°C. La germinación frecuentemente no ocurre con temperaturas menores a 11 °C.

Humedad. Es uno de los factores muy valiosos para la germinación, origina que el brote de la yema cambie de su estado durmiente o latente en que se encuentra a un estado activo, por lo que se sugiere que el primer riego se debe emplear dentro de las 24 horas después de la siembra. El riego tardío causa la pérdida de germinación y vigor (Rivera, 2014).

Macollamiento o Ahijamiento

Consiste en el brote de nuevos tallos de la planta germinada o tallo primario para formar propiamente la cepa o macolla (Rivera, 2014). La fase de macollamiento de la caña de azúcar tiene una duración de 60 días desde el final de la fase de germinación y emergencia (Subiros, 2000). Durante los estados iniciales de la germinación los primordios radiculares cerca del nudo, producen muchas raíces temporales del trozo de caña o semilla. Estas no se encuentran claramente conectadas con el brote principal, son significativos para conservar el nivel de humedad en el trozo de caña, mientras el brote se alarga a través del suelo hacia la superficie.

Cada brote origina su propio sistema radicular o raíces permanentes que le permite nutrir a la planta que se está formando, produciendo hojas para que puedan realizar la fotosíntesis y formar los azúcares precisos para su crecimiento y desarrollo (Salgado *et al.*, 2003).

La mayor parte del potasio requerido por la caña de azúcar es absorbido durante las etapas de macollamiento e inicio de la maduración. La mayor demanda de potasio se ha asociado con la etapa de macollamiento, así como con el aumento de la densidad y el diámetro de tallos durante esta etapa (Rengel *et al.*, 2012).

Periodo de rápido crecimiento

El crecimiento de los tallos entre el cuarto y séptimo mes es precoz, en el cual se acorta a medida que incrementa la edad del cultivo. Durante la época de máximo elongamiento, la tasa normal de crecimiento es superior a un centímetro/día y en varios países pueden alcanzar un crecimiento hasta tres cm/día. En esta fase, se ha percibido que el déficit de agua causa una baja valorativa en el alargamiento de los tallos.

La fase del periodo de rápido crecimiento de la caña de azúcar tiene una duración de 270 días, hay que tener en cuenta la fertilización óptima para que su desarrollo sea satisfactorio (Marasca *et al.*, 2015). Si la variedad es vigorosa ésta obtendrá un vertiginoso y sostenido desarrollo inicial. Durante esta fase la planta origina nuevos brotes y la cubierta foliar se extiende para captar la luz que se encuentra disponible.

El desarrollo de estos tallos es tardío por un periodo temporal, pues hasta que los brotes nuevos originen hojas y sean idóneos para cumplir con el proceso de la fotosíntesis. Varios de estos tallos nuevos se desaprovechan cuando la cubierta foliar taponan el paso de la luz, a pesar de que el número de hijuelos que se desaprovechan pueden ser muy grandes, estos son muy pequeños que comúnmente figuran una pérdida menor a 5 % de la producción del cultivo.

Las hojas del cultivo de la caña de azúcar se inician en los nudos y se dispersan en posiciones alternas siguiendo el tallo a medida que éste progresa. La hoja está compuesta por la lámina foliar y por la vaina, la alianza entre estas dos partes se designa lígula y en cada lado de ésta, existe una aurícula con pubescencia.

La lámina foliar es significativa para el proceso de fotosíntesis, tiene una nervadura central que recorre en toda su distancia y paralela a ella se hallan las nervaduras

secundarias. Los bordes muestran prominencias continuas en forma aserrada. La vaina posee una forma tubular que envuelve el tallo y es amplia en la base, puede ser glabra o recubierta de pelos urticantes pueden cambiar con las variedades en cantidad y amplitud.

El tallo es el órgano más significativo de la planta de la caña ya que es donde se acumulan los azúcares. Los tallos están formados por nudos que se hallan apartados por entrenudos. El nudo es la parte dura y más fibrosa del tallo que aparta a dos entrenudos cercanos, está formado por el anillo de crecimiento, la franja de raíces, la cicatriz foliar, el nudo, la yema y el anillo ceroso. El anillo de crecimiento da inicio al entrenudo.

La franja de raíces es una zona minúscula donde se iniciarán las raíces primordiales aquí se halla la cicatriz foliar o de la vaina que envuelve al nudo luego de que la hoja se cae. La yema es la parte significativa ya que da inicio a los tallos nuevos, cada nudo muestra una yema en forma escalonada protegida por una vaina foliar.

Las condiciones ambientales para el desarrollo del cultivo también son adecuadas para el desarrollo de las plagas (enfermedades, insectos, arvenses). Las últimas producen pérdidas cuantiosas en el rendimiento potencial del cultivo de la caña de azúcar (Sánchez *et al.*, 2014).

Fase de maduración

La fase de maduración empieza aproximadamente de dos a tres meses antes de la cosecha, depende del manejo que se realizó durante el desarrollo de la plantación ya que en eso oscila la cosecha desde los 12 a 16 meses. En esta etapa es necesario disminuir la cantidad de humedad en el suelo para detener el crecimiento e incentivar a la planta que comience el proceso de maduración, en la acumulación de carbohidratos y la conversión de los azúcares fructosa y glucosa a sacarosa (Subiros, 2000).

La duración de la fase de maduración es de 60 días, claro está que esto varía con el manejo que el cultivo recibió en las fases anteriores, dándole una humedad y

fertilización óptima para su adecuada formación y desarrollo (Subiros, 2000). La madurez de la caña de azúcar es una función de la edad y de los niveles de nitrógeno y humedad, pero es dificultoso e impredecible por la influencia de factores climáticos como: luz, temperatura, lluvia y humedad. Se considera que las amplias variaciones de temperatura máxima diurna y mínima nocturna incitan a una mayor concentración de sacarosa.

Los tallos acumulan sacarosa en células del parénquima, y las hojas disminuyen su actividad fotosintética significativamente ya que esta actividad es determinada por la demanda de carbono (C) en los tejidos de demanda en los tallos (Méndez *et al.*, 2016).

Las épocas con bajas temperaturas nocturnas, están ligadas de alta radiación solar en el día, en la cual favorece para la acumulación de sacarosa. La fase de maduración en la costa ecuatoriana, corresponde a la época menos lluviosa y de menor temperatura del año, el crecimiento de los tallos es sensible a estas condiciones, no así la fotosíntesis que puede continuar hasta que las condiciones de humedad sean propicias (Méndez *et al.*, 2016).

La floración

La floración tiene lugar cuando las condiciones son favorables para un cambio del estado vegetativo al reproductivo, cuando se ha excedido la edad mínima y/o el estado fisiológico de desarrollo. Las variedades difieren en sus características de floración abundante y otras no florecen. La floración normalmente tiene lugar cuando hay una reducción del crecimiento debido a días más cortos y noches más frías, después del rápido crecimiento en los meses calientes del verano (Rivera, 2014).

El control de la floración y el acorchamiento tienen como objetivos principales lograr un mayor rendimiento de caña de azúcar en variedades de alta floración, ya que el control permite cosechar variedades florecedoras a mediados y finales de la zafra, mejor calidad del azúcar, en lo que la aplicación de un inhibidor de la floración nos permite que la caña siga creciendo esto hace que el rendimiento en toneladas métricas sea

mayor. El inhibidor de floración más utilizado es a base de Etefón con el nombre comercial de Ethrel LS48 con una dosis de 1,5 lt ha⁻¹ (Pérez *et al.*, 2016).

2. Funciones de los nutrientes minerales en las plantas

Las funciones de los nutrientes en la fisiología de la plantas son conocidas; sin embargo, los fundamentos en base a la interacción nutriente-hospedante- patógeno han sido poco estudiados. Aunque son numerosas las investigaciones que así lo demuestran, existen contradicciones ya que no se le presta la merecida importancia al manejo de los nutrientes en la fitosanidad de las plantas.

El efecto de los macroelementos primarios sobre la incidencia de la enfermedad está representada indistintamente en cualquiera de las categorías. Como se observa para el nitrógeno los estudios señalan que incrementos en el nutriente producen mayor severidad en la presencia de enfermedad, contrario al fósforo y el potasio (Cristancho *et al.*, 2012). Sin embargo, el propio autor expresa que, en dependencia del ambiente, puede dar una respuesta completamente opuesta.

La resistencia y tolerancia de las plantas a las enfermedades es genéticamente controlada, pero adicionalmente en ocasiones son condicionadas a la acción del medio o ambiente circundante, en tal caso un adecuado manejo de la nutrición mineral, puede ser usado a favor de reducir la severidad. Munévar (2004) presenta resultados de estudios sobre la relación entre la fertilización y la pudrición de estípites, en el cual revela una menor incidencia de la enfermedad en las palmas de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) que recibieron fertilización balanceada con macroelementos primarios en comparación con las no fertilizadas o con aquellas que recibieron sólo la aplicación de uno de los nutrientes mencionados.

La nutrición mineral puede influir de forma decisiva sobre la agresividad de los patógenos, al actuar sobre su supervivencia, la germinación de esporas o capacidad de penetración en el hospedante (Morales, 2008). Estos resultados tienen una aplicación práctica en los programas de manejo fitosanitario. Un factor en contra de esta práctica radica en no encontrar el punto de equilibrio económico entre el balance nutricional, el

incremento del rendimiento por la acción de la fertilización y cuanto se deja de producir por los daños que ocasiona la plaga, lo que pudiera ser un enfoque investigativo en el contexto actual.

2.1. Extracción de nitrógeno, fósforo y potasio por la caña de azúcar

En los trabajos de nutrición de la caña de azúcar, el conocimiento de las cantidades de nutrimento que extrae; reviste importancia para poder interpretar correctamente las aplicaciones de fertilizantes y su efecto sobre la evolución de la fertilidad (Cuellar, 1983).

En cada zafra, se extraen cantidades considerables de elementos nutritivos de los campos cultivados con caña de azúcar, que de no ser cuantificados y retribuidos en el caso necesario, provocarían el empobrecimiento de los suelos. Los estudios realizados en diferentes países cañeros referentes a la extracción de nutrimentos, concuerdan que el elemento retirado en mayor cantidad del suelo es el potasio, seguido por el nitrógeno y el fósforo (Cuellar *et al.*, 2002).

Se ha determinado para las condiciones de Cuba, (Cuellar *et al.*, 2002), que la caña de azúcar extrae como promedio de 0.50 a 0.70 kilogramos de nitrógeno; 0.40 a 0.50 kilogramos de P_2O_5 y 1,5 a 2,0 kg de potasio por cada tonelada de tallo producido.

3. Fertilización potásica de la caña de azúcar

3.1. Origen del potasio en el suelo

El potasio es un constituyente abundante y vastamente distribuido en las rocas superficiales de la tierra; se calcula que representa, en peso, un 2,6% de la corteza terrestre. La mayor parte del potasio en las fracciones arena y limo de los suelos se halla en los minerales clasificados como feldespatos y micas y, entre ellos, los más importantes son los feldespatos ortoclasa y microclino y las micas biotita y muscovita. La illita, es el principal mineral portador de potasio en la fracción arcilla de los suelos (Cruzate, 2001).

La riqueza en potasio, tanto intercambiable como no intercambiable, es sustancial, pues los cultivos no sólo asimilan potasio intercambiable sino que absorben potasio no intercambiable en importantes proporciones, sobre todo durante los lapsos más avanzados del período vegetativo. (Cruzate, 2001).

En condiciones naturales, los procesos pedogenéticos de clima y vegetación, actúan sobre los minerales presentes produciendo en mayor o menor medida la disponibilidad de potasio en el suelo. De esta manera, su contenido está estrechamente relacionado con el tipo de material parental ya su pedogénesis. Las investigaciones demostraron que el sistema agrícola no tiene otra vía de ingreso natural para el balance de potasio que la reposición proveniente de la liberación de los minerales primarios y secundarios, siendo preponderante la participación de la fracción arcilla. Los minerales arcillosos son la fuente principal de potasio en el suelo (Cruzate, 2001).

Aunque los suelos derivados de ceniza volcánica por su origen, generalmente tienen buenas reservas de K en el suelo, factores como la alta cantidad e intensidad de las lluvias y las texturas livianas tienden a favorecer la lixiviación de las formas disponibles de K^+ (Pérez, 2001).

La disponibilidad de potasio está relacionada a la facilidad que las plantas puedan obtenerlo esto significa que debe estar disuelto como ión potasio (K^+) en la solución del suelo. Esa es la única forma con la que es absorbido por la planta. El potasio (K^+) en el suelo se encuentra en varias formas y con diferentes grados de disponibilidad. Las formas intercambiables y en solución son las fracciones fácilmente disponibles para las plantas y las que generalmente son extraídas y medidas en los procedimientos analíticos de un laboratorio para medir la disponibilidad de K^+ en el suelo (Pérez, 2001).

El potasio de la solución de suelo está inmediatamente disponible por las plantas, pero las cantidades presentes allí son muy pequeñas. Apenas una mínima porción del potasio total del suelo se encuentra en esta forma. Las plantas en crecimiento, rápidamente extraen el potasio de la solución del suelo, pero a medida que es absorbido y extraído, su concentración es renovada y restituida inmediatamente por la

cesión de formas menos accesibles ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo, potasio intercambiable.

El proceso de adsorción es el que repone y equilibra la concentración de potasio de la solución del suelo. La capacidad de intercambio catiónico (CIC), específicamente el K intercambiable es el que regula y mantiene la concentración de K en solución. Esta forma es la llave principal de la dinámica del potasio en el suelo. A medida que la concentración del potasio de la solución desciende, el potasio adsorbido es liberado a la solución del suelo. A la inversa, si la concentración de potasio de la solución del suelo aumenta por la aplicación de fertilizantes potásicos, parte de éste dejará la solución y se unirá electrostáticamente al material coloidal de la fase sólida (Cruzate, 2001).

El potasio de la solución más el intercambiable, es comúnmente denominado potasio disponible y medido en los análisis convencionales para evaluar la fertilidad del suelo. Existen otras formas de potasio que están fuertemente unidas a la fase sólida mineral, las cuales se denominan potasio fijado y potasio estructural. Ambas constituyen el potasio de reserva o de reposición de los suelos. El potasio fijado es el que se ubica en el espacio de las láminas de silicio y el potasio estructural que es el que está químicamente combinado con los elementos en la estructura de los minerales del suelo. Ambas formas son denominadas K no intercambiable (Cruzate, 2001).

La cantidad de potasio en la solución del suelo es siempre baja y el potasio intercambiable, mucho más abundante, restablece rápidamente la concentración en la solución. El potasio no intercambiable, fundamentalmente el fijado, es la fracción que regula el abastecimiento al potasio disponible del sistema en períodos de alta demanda (Cruzate, 2001).

El suministro a la planta durante un período determinado dependerá de la cantidad de potasio de cada fuente y de la velocidad con que se establece la reposición y el equilibrio entre las formas (Cruzate, 2001). La velocidad a la cual el potasio se vuelve disponible para las raíces es afectada por la cantidad de intercambiable, no

intercambiable y por la velocidad de movimiento del potasio a través del suelo. A medida que la raíz absorbe potasio, el intercambiable próximo a las raíces disminuirá ó se agotará.

Al disminuir la concentración de potasio intercambiable, éste se moverá desde zonas más enriquecidas y distantes de la raíz hasta restablecer nuevamente el equilibrio. La velocidad con que se moviliza o difunde el potasio, dependerá de los materiales constituyentes del suelo y las condiciones ambientales, siendo más alta en suelos húmedos (Cruzate, 2001).

La reserva de potasio intercambiable y no intercambiable depende fundamentalmente de la cantidad y calidad de arcillas presentes en el suelo. La fuerza de retención varía con el tipo de arcilla y la posición del ión en la misma (Cruzate, 2001). Cuando el K intercambiable ha disminuido hasta un mínimo (potasio intercambiable mínimo), el abastecimiento de la solución del suelo se produce por el K de las interláminas de las arcillas (potasio fijado). La principal fuente natural de reposición ante las intensivas extracciones realizadas por los cultivos, es el potasio fijado, contribuyendo significativamente a la nutrición potásica cuando la forma intercambiable es insuficiente, pero con mucha menor velocidad de pasaje a la solución del suelo (Cruzate, 2001).

Una agricultura intensiva requiere una gran velocidad de reposición de potasio a la solución del suelo y ello está ligado solo a grandes cantidades de potasio intercambiable. Los aportes de potasio por fertilizante son necesarios para reponer potasio en estas posiciones, en especial en aquellos suelos en agricultura continua, con baja saturación y baja regulación potásica (Cruzate, 2001).

El agregado de fertilizante se ve afectado por la cantidad, naturaleza y saturación potásica de las arcillas, que provocan una redistribución del potasio agregado en las formas intercambiables y fijadas. De esta manera, trae cambios en la dinámica del potasio favoreciendo el proceso de liberación de potasio a la solución del suelo por aumento del K intercambiable y K fijado (Cruzate, 2001).

El potasio en el suelo se encuentra en varias formas y con diferentes grados de disponibilidad. Las formas intercambiables y en solución son las fracciones que son fácilmente disponibles para las plantas y las que generalmente son extraídas y medidas en los procedimientos analíticos a nivel de laboratorio para medir la disponibilidad de potasio en el suelo (Cruzate, 2001).

3.2. Formas de potasio en el suelo

El potasio en el suelo se presenta de las siguientes formas básicamente:

Potasio no disponible

Este se encuentra en los minerales (rocas). El K es liberado a medida que los minerales se intemperizan, pero esto sucede en forma lenta que no se hace disponible para las plantas en crecimiento. (García, 1988).

Potasio disponible en forma lenta

Este tipo de potasio está "fijado" o atrapado entre las capas de ciertas arcillas del suelo. Estas arcillas se encogen y se expanden con los suelos secos y húmedos respectivamente, los iones (K^+) pueden ser atrapados entre estas capas haciéndose no disponibles o disponibles lentamente. Este potasio es tomado gradualmente por las plantas a través de reacciones de minerales tales como la Illita que aparecen alternativamente para eliminarlo o fijarlo, dependiendo de diversos factores (García, 1988).

Potasio disponible del suelo

El K disponible en forma inmediata se encuentra en la solución del suelo, más el potasio retenido en forma intercambiable de las arcillas y la materia orgánica. (García, 1988).

Potasio en la solución de suelo

El potasio de la solución de suelo está inmediatamente disponible y puede ser absorbido por las plantas en forma inmediata, pero las cantidades presentes son muy pequeñas. Apenas una mínima porción del potasio total del suelo se encuentra en esta forma (Cruzate, 2001).

Las plantas en crecimiento, rápidamente extraen el potasio de la solución del suelo, pero a medida que el potasio es absorbido y extraído, su concentración es renovada y restituida inmediatamente por las formas menos accesibles ubicadas en las zonas de adsorción de los coloides minerales y orgánicos del suelo. El proceso de adsorción-desorción es el que repone y equilibra la concentración de potasio de la solución del suelo. La capacidad de intercambio catiónico (CIC), específicamente el K intercambiable es el que regula y mantiene la concentración de K en solución, esta forma de potasio es la clave de la liberación y renovación de la solución del suelo (Cruzate, 2001).

El Potasio intercambiable

Es la forma iónica del potasio (K^+) unido electrostáticamente a los materiales que componen la fase sólida coloidal mineral y orgánica. A medida que la concentración del potasio de la solución desciende, el potasio absorbido disminuye porque es liberado a la solución del suelo. A la inversa, si la concentración de potasio de la solución del suelo aumenta por la aplicación de fertilizantes potásicos. Parte de éste dejará la solución y se unirá electrostáticamente al material coloidal de la fase sólida. El potasio de la solución más el intercambiable, es comúnmente denominado potasio disponible y medido en los análisis convencionales para evaluar la fertilidad potásica del suelo (Cruzate, 2001).

El Potasio de reserva

Existen formas de potasio que están fuertemente unidas a la fase sólida mineral, las cuales se denominan potasio fijado y potasio estructural. Ambas constituyen el potasio de reserva o de reposición de los suelos. El potasio fijado es el que se ubica en el espacio hexagonal de las láminas de silicio y el potasio estructural que es el que está

químicamente combinado con los elementos en la estructura de los minerales del suelo. Ambas formas son denominadas potasio no-intercambiables.

Se produce un equilibrio entre el potasio intercambiable y estas formas no-intercambiables (Cruzate, 2001). El proceso para alcanzar el estado de equilibrio es mucho más lento que el de potasio de la solución del suelo-potasio intercambiable. El mecanismo de reposición y equilibrio entre las formas es: La fuente inmediata de potasio para las plantas es el que está disuelto en la solución del suelo; la reposición que mantiene su nivel estable es en primer lugar, la forma K intercambiable y luego el K fijado.

El suministro a la planta durante un período determinado dependerá de la cantidad de potasio de cada fuente y de la velocidad con que se establece la reposición y el equilibrio entre las fuentes. La cantidad de potasio en la solución del suelo es siempre baja, el potasio intercambiable, mucho más abundante, restablece rápidamente la concentración en la solución. El potasio no intercambiable, fundamentalmente el fijado, es la fracción que regula el abastecimiento al potasio disponible del sistema en períodos de alta demanda (Cruzate, 2001).

3.3. Dinámica de potasio en el suelo

El potasio no se mueve mucho en el suelo, a diferencia de otros nutrientes, el potasio tiende a permanecer en el lugar donde se coloca el fertilizante. Si el potasio llega a moverse lo hace por difusión, lento y a corta distancia en las películas de agua que rodean las partículas de suelo. Las condiciones de sequía hacen a este movimiento aun más lento (García, 1988).

Las raíces de los cultivos por lo general entran en contacto con menos del 3% del suelo en el cual crecen; de modo que el suelo debe estar bien suplido de potasio para asegurar la disponibilidad de potasio en cada etapa de su desarrollo (García, 1988).

3.4. Factores que afectan el equilibrio del K en el suelo

Los coloides del suelo tienen cargas negativas y atraen los cationes, como es el K^+ . Los coloides del suelo repelen los aniones, como son los nitratos (García, 1988). De modo que los cationes son retenidos en forma intercambiable (adsorbidos), Estos cationes intercambiables se encuentran en equilibrio con los que se encuentran en la solución del suelo.

3.5. Importancia del potasio en el suelo

El potasio es uno de los tres nutrientes minerales que necesitan las plantas en mayor cantidad. Las plantas absorben el potasio que se encuentra en la solución del suelo en forma del catión K^+ (Cruzate, 2001). La cantidad de potasio en la solución del suelo está en función (controlada) por de la liberación del potasio intercambiable, generalmente localizado alrededor de las partículas (micelas) de arcilla. Los cultivos extraen grandes cantidades de potasio del suelo para su crecimiento y desarrollo y como es de esperarse, la falta de éste elemento, influye negativamente en el rendimiento y calidad del cultivo (Cruzate, 2001).

Además, la deficiencia de potasio aumenta la vulnerabilidad del cultivo a enfermedades y lo hace menos resistente a condiciones de "stress" tales como sequías, heladas entre otros. El abastecimiento de K en el suelo es limitado, aun los suelos que contienen arcillas ricas en este mineral no pueden suplirlo indefinidamente (Cruzate, 2001).

Es un error creer que en suelos que por naturaleza son ricos en K (Vertisoles), adicionar este elemento a los cultivos es innecesario. El potasio extraído por los cultivos debe de regresarse al suelo, para no disminuir la fertilidad del mismo; cuando el agricultor saca de la parcela o campo la cosecha, se está llevando consigo el potasio fuera del sistema agrícola (Cruzate, 2001).

También, se puede apreciar que se pierde potasio al sacar la cosecha, por lavado, especialmente en suelos arenosos y lugares de alta precipitación pluvial, por escurrimiento y/o erosión en sitios donde la pendiente y el manejo del agua y drenaje son deficientes. En los sistemas de agricultura moderna, la cosecha es probablemente

la forma en la que se extrae mayor cantidad de K del suelo. Así, el no regresar lo que se extrae o se pierde durante el ciclo del K ocasiona que el suelo pierda fertilidad y por ende productividad potencial (Cruzate, 2001).

Las formas de incorporación del potasio al suelo son: adición de residuos vegetales, estiércoles, residuos animales sólidos y fertilizantes minerales. Algunos fertilizantes minerales como el cloruro de potasio (KCl) y el sulfato de potasio y magnesio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$), son extraídos de yacimientos de silvinita y silvita (el primero) y langbeinita (el segundo) (Cruzate, 2001).

Estos fertilizantes no son elaborados por síntesis química, simplemente por medios físicos se limpian y acondicionan para ser utilizados en agricultura. Tienen la ventaja que son solubles por lo que son de rápida disponibilidad a los cultivos (Cruzate, 2001).

3.6. El papel del potasio en el crecimiento de la caña de azúcar

La acumulación de potasio en las hojas de la caña se incrementa hasta que se llega a un máximo de producción de follaje. Después de que la producción foliar finaliza, la cantidad de potasio en la planta de la caña se mantiene constante hasta que el número de hojas activas disminuye durante el proceso de maduración. La planta de la caña puede sufrir de deficiencia de potasio aún en suelos que reportan altos contenidos de este elemento (Lazcano, 2005).

Especialmente si estos suelos son del tipo pesado (arcillosos), con poca estructura, de alta densidad o compactación debida al tráfico de equipo agrícola y con cantidades relativamente altas de calcio y/o alta saturación de sodio. El oxígeno disponible para las raíces en esos suelos siempre es bajo (Lazcano, 2005).

Además, la dificultad de obtener potasio en cantidades adecuadas en esos suelos se incrementa con altos contenidos de humedad y/o bajas temperaturas. El potasio juega un papel muy importante como catalizador dentro del metabolismo de las plantas y generalmente se encuentra donde existe transferencia de energía dentro de la planta. El potasio participa en la formación y neutralización de ácidos orgánicos. Además,

juega un papel muy importante en el balance entre la formación, acumulación y consumo de azúcares por la planta durante el desarrollo vegetativo (Lazcano, 2005).

El potasio incrementa la dureza de las paredes celulares en los tejidos de las plantas, logrando así, una disminución en el acame (caída de la planta al suelo) de los tallos de la caña de azúcar. El mantener la caña de azúcar erecta es muy importante para la cosecha mecanizada y además, también hace más eficiente la cosecha manual. La fotosíntesis disminuye con incrementos en la deficiencia de potasio. Pérdidas significativas en el rendimiento de azúcar se pueden dar aún cuando no existan síntomas visibles de deficiencia de potasio (Lazcano, 2005).

3.7. El papel del potasio en la traslocación de azúcares

La deficiencia de nutrientes limita la traslocación (movimiento) de azúcares desde las hojas (punto de fabricación) a los lugares de almacenamiento. El movimiento de los azúcares recién formados en las hojas se realiza a una velocidad aproximada de 2.5 centímetros por minuto en plantas de caña bien fertilizadas en el campo (Lazcano, 2005).

La deficiencia de fósforo no ha mostrado tener un efecto significativo en la velocidad de traslocación de azúcares, la deficiencia de nitrógeno tiene un efecto intermedio, mientras que la falta de potasio puede bajar la eficiencia del transporte de azúcares por debajo de la mitad comparada con el control. Sin una cantidad adecuada de potasio una buena parte del azúcar, puede terminar en las hojas en lugar de cosechado en el tallo (Lazcano, 2005).

3.8. El papel del potasio en la eficiencia del uso del agua por la planta

Las plantas consumen grandes cantidades de agua y la caña de azúcar no es la excepción. Es más, la caña de azúcar está considerada como uno de los cultivos que más agua consumen. Con un promedio de 12 hojas por tallo y 80,000 tallos por hectárea, este cultivo presenta una cobertura foliar de aproximadamente $96,000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. O lo que es lo mismo diez veces la superficie de suelo (de una hectárea) que ocupa el cultivo (Lazcano, 2005).

Las hojas y la planta de la caña se mantienen frescas gracias a la evaporación del agua a través de los estomas de las hojas (evapotranspiración). Estos estomas (poros) de las hojas se mantienen abiertos cuando existe humedad e iluminación suficiente para un buen desarrollo de la planta, permitiendo así la salida de agua y la entrada de bióxido de carbono necesario para la formación de azúcares. Los estomas se cierran bajo condiciones de baja humedad del suelo y obscuridad (Lazcano, 2005).

El potasio controla en parte la hidratación de las células de los estomas. Cuando el potasio está deficiente, se produce un desajuste en el control de los 14 estomas y estos no abren y cierran como debieran provocando un mayor gasto de agua y menor eficiencia en la asimilación de carbono necesario, para la formación de azúcares en las hojas de la caña (Lazcano, 2005).

Esto tiene como resultado una disminución en la tasa de crecimiento (desperdicio de N) y una baja en la concentración de azúcar en el tallo de la planta. Así, la falta de potasio en la caña de azúcar resulta en la reducción de la “habilidad” de la planta para hacer un uso eficiente del agua disponible, de la luz y del fertilizante nitrogenado (Lazcano, 2005).

3.9. Síntomas de deficiencia de potasio en la caña de azúcar

Las hojas jóvenes deficientes en potasio son de color verde oscuro comparadas con las hojas viejas (amarillentas). Ambas, las hojas jóvenes y las maduras parece que se originan de un mismo punto de crecimiento, una característica clásica de las plantas que no están creciendo (conocido como escoba de bruja) (Lazcano, 2005).

Las plantas de caña de azúcar que sufren por deficiencia de potasio muestran una depresión del crecimiento, tallos más delgados (Lazcano, 2005). Es clásico observar un amarillamiento y desarrollo de marchitez en los márgenes de las hojas maduras y viejas de la parte de abajo de la planta lo que ocasiona que la hoja muera prematuramente (Lazcano, 2005).

3.10. El análisis de suelo y de planta como guías de la necesidad de potasio

Los análisis de suelo y planta son usados para determinar las dosis óptimas de fertilización en prácticamente todas las regiones cañeras del mundo. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la planta de la caña de azúcar puede sufrir por deficiencia de potasio aún en suelos que según el análisis contiene altos niveles de este nutriente (Takkar y Walker, 1993).

Por esta razón, el análisis de planta ofrece una valiosa ayuda cuando se quiere determinar el estado nutricional de la caña de azúcar. Además el análisis foliar nos puede indicar la falta de disponibilidad de este nutriente (K) en el suelo y así auxiliar en la determinación de los niveles críticos de respuesta por el cultivo (Takkar y Walker, 1993).

La caña de azúcar tiene una alta demanda de potasio y las reservas naturales de potasio se pueden perder en muchos suelos en un lapso pequeño de tiempo si no se toman medidas correctivas. Una baja cantidad de potasio disponible en el suelo puede causar una germinación errática (Takkar y Walker, 1993).

En suelos arenosos, la lixiviación de potasio puede ser alta, pero en otros suelos las pérdidas de potasio son pequeñas. Las plantas deficientes de potasio son menos resistentes a las enfermedades y a la sequía (Takkar y Walker, 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó durante el 3^{er} ciclo de un experimento de larga duración de caña de azúcar con un diseño de bloques completos al azar (8 tratamientos x 6 repeticiones). Se estudió la variedad C120-78, plantada en el Área Experimental km 27, perteneciente a la Estación Provincial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (EPICA) de Holguín. El experimento se encuentra asociado al perfil 889, perteneciente a la Red Geográfica Experimental del INICA (INICA, 1986).

El suelo es un Vertisol Crómico cálcico gléyico en profundidad (Hernández *et al.*, 2015), sobre un material de origen de corteza arcillosa carbonatada y variablemente salinizada. El horizonte superficial es un Ap, con un espesor de 0-18 cm, pardo amarillento, arcilloso, terroncillo terronoso, seco, compactado, con muchas raíces y transición hacia el horizonte inferior notable. La topografía es llana. El drenaje superficial es bueno y el interno moderado. La vegetación está representada por caña de azúcar. Los resultados de los análisis de suelo, a una profundidad de 0-20 cm, al comenzar y al finalizar el experimento se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Propiedades químicas del suelo al inicio y final del experimento.

Tratamien tos	pH		M. O. (%)	Bases cambiables (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)				CCB (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
	en H ₂ O	en KCl		Ca	Mg	K	Na	
Inicio								
I	8,12	6,87	2,18	42,54	14,06	0,70	0,35	57,64
II	8,08	6,88	2,17	41,82	15,15	0,68	0,35	57,99
III	8,13	6,88	2,16	41,13	13,44	0,70	0,32	55,59
IV	8,08	6,82	2,15	42,34	13,02	0,75	0,32	56,42
V	8,13	6,92	2,20	42,07	13,61	0,75	0,33	56,76
VI	8,10	6,90	2,16	43,70	11,81	0,74	0,34	56,60
VII	8,08	6,88	2,23	45,07	11,52	0,85	0,33	57,76

VIII	8,12	6,88	2,24	42,61	13,00	0,97	0,29	56,87
Final								
I	7,70	6,66	3,05	41,38	13,25	0,73	1,63	56,99
II	7,70	6,66	2,63	40,99	12,54	0,64	1,53	55,69
III	7,70	6,66	2,79	42,03	12,17	0,78	1,57	56,54
IV	7,64	6,70	2,70	42,17	11,72	0,87	1,69	56,45
V	7,75	6,70	2,79	42,31	11,82	0,78	1,62	56,53
VI	7,68	6,67	2,91	42,81	12,06	1,05	1,87	57,79
VII	7,70	6,67	2,64	42,85	12,49	0,79	1,58	57,70
VIII	7,68	6,66	2,59	43,17	11,86	0,79	1,59	57,41

M. O.: Materia orgánica; CCB: Capacidad de Cambio de Bases.

Las precipitaciones caídas por cepas se muestran en la Tabla 2. Los datos fueron tomados de la estación meteorológica de Guaro, ubicada a 3 km del experimento.

Tabla 2.- Precipitaciones por cepas.

Cepas	Precipitaciones (mm)
Soca (1 ^{er} retoño)	909,7
2 ^{do} retoño	1089,8
3 ^{er} retoño	982,7
4 ^{to} retoño	1214,9

Las muestras foliares fueron tomadas una semana antes de la cosecha de las cepas 1^{er}, 2^{do}, 3^{er} y 4^{to} retoño en los surcos 2 y 3 de cada una de las 8 parcelas correspondientes a la 3^{ra} repetición. Para conformar las muestras se seleccionaron 5 plantas por cada surco. Los tratamientos evaluados fueron:

Tabla 3.- Dosis de potasio aplicadas más dosis de fondo en cada tratamiento.

Trata mientos	Dosis de K ₂ O	Dosis de fondo		Observaciones
		N ₂	P ₂ O ₅	
I	0	0	0	Testigo absoluto
II	0	120	50	Testigo
III	160	120	50	Aplicación anual de K ₂ O desde el 2 ^{do} ciclo
IV	160	120	50	Aplicación anual de K ₂ O desde el 3 ^{er} ciclo
V	120	120	50	Aplicación anual de K ₂ O desde el 1 ^{er} ciclo
VI	160	120	50	Aplicación anual de K ₂ O desde el 1 ^{er} ciclo
VII	600	120	50	Aplicación de K ₂ O al inicio de cada ciclo
VIII	800	120	50	Aplicación de K ₂ O al inicio de cada ciclo

Los cogollos fueron pesados y molidos, tomándose muestras representativas de entre 500-700 g, que fueron secadas en estufa a 85°C para determinar el contenido de materia seca y de nutrientes; 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 determinaron los estadígrafos esenciales de posición y de dispersión mediante la estadística descriptiva, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.- Estadígrafos de dispersión y de posición.

	Media	Desviación estándar	Coficiente de variación	Varianza	Curtosis
Materia seca	9.08	2.19	24.17	4.81	-0.47
Nitrógeno	65	33.95	52.30	1152.63	-0.76
Fósforo	12	5.17	42.48	26.71	-0.82
Potasio	150	80.41	53.66	6465.76	-0.78

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. Para el procesamiento de los datos obtenidos fue utilizado el software Statistica 7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra el efecto de las diferentes dosis de potasio sobre el comportamiento de la materia seca procedente del cogollo de la caña de azúcar. Los mayores resultados se obtuvieron en el tratamiento en el que se aplicaron 120 kg ha^{-1} de K_2O anual, donde los aportes de materia seca fueron de $11,04 \text{ t ha}^{-1}$.

El T V difiere de forma altamente significativa del resto de los tratamientos. Posiciones intermedias ocupan T IV, T VIII, T III y T II, entre los que no se encontraron diferencias significativas. Los tratamientos mencionados, excepto T IV, no mostraron diferencias con T VII. Este último, al igual que T II no mostró diferencias con los tratamientos de más bajo contenido de materia seca, que fueron aquellos donde se fertilizó con 160 kg ha^{-1} de K_2O todos los años y el testigo absoluto, con $8,18$ y $8,11 \text{ t ha}^{-1}$ de materia seca producida por la biomasa aérea de la caña de azúcar, respectivamente.

Resulta notable la disminución de la materia seca, cuya cantidad se asocia con el rendimiento agrícola y el número de tallos, en la dosis 120-50-160 anual (T VI). Rossetto *et al.* (2010) encontraron en Oxisoles y Ultisoles del estado de São Paulo que los rendimientos agrícolas disminuían cuando las dosis de K_2O se elevaban por encima de los 125 kg ha^{-1} .

Muñoz y Quintero (2010) al evaluar el comportamiento de los rendimientos agrícolas de la caña de azúcar en un Vertic Haplustoll determinaron que la cantidad de toneladas de caña por hectárea aumentaban con el aumento de las dosis de NPK, y que el efecto de los nutrientes sobre este incremento se optimizaba con la combinación de la fertilización y los residuos de cosecha dejados en el campo.

De la misma forma, García *et al.* (2010), en un Typic Haplustox del estado de São Paulo determinaron un aumento de los rendimientos cañeros al aumentar las dosis de nutrientes, tanto en la fertilización mineral como en la organomineral. Estos autores encontraron para 10-50-50, 20-100-100 y 30-150-150 de NPK rendimientos de $74,07$, $85,63$ y $85,42 \text{ t ha}^{-1}$ en el primer tipo de fertilización mencionado; mientras que para dosis de 7,5-50-50, 15-100-100 y 22,5-150-150 de NPK (organomineral) el cultivo reportó $75,37$, $92,54$ y $93,82 \text{ t ha}^{-1}$. Todos los tratamientos superaron al testigo (0-0-0) que solo rindió $54,78 \text{ t ha}^{-1}$.

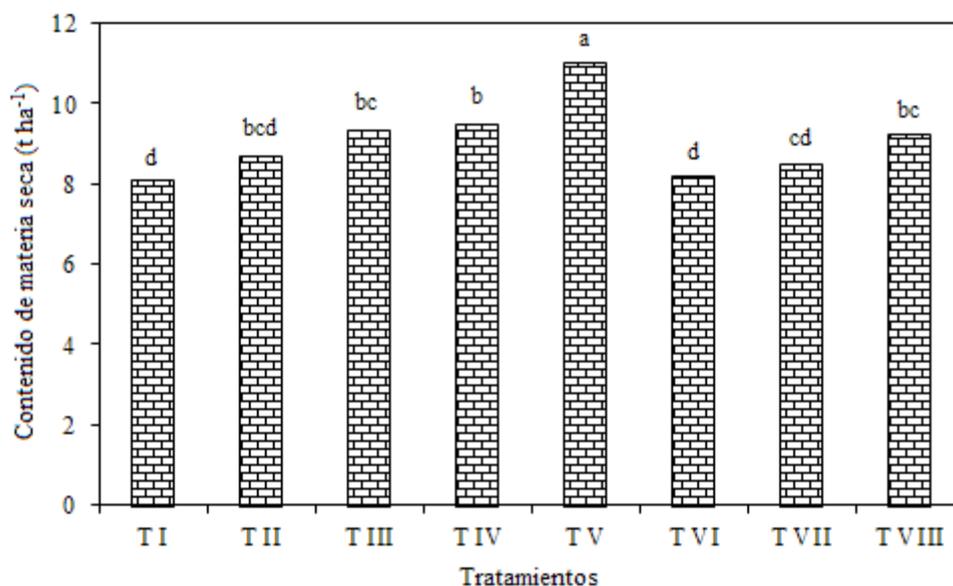


Figura 1.- Influencia de dosis de fertilizante potásico en la producción de materia seca de la biomasa foliar de la caña de azúcar.

La Figura 2 permite observar que los valores determinados del contenido de materia seca fueron de 11,13, 9,69, 8,95 y 6,54 t ha⁻¹ en las cepas 2^{do}, 3^{er}, 4^{to} y 1^{er} retoños, respectivamente. Entre todas las cepas se encontraron diferencias altamente significativas. El comportamiento de la materia seca, en la medida en que transcurre el ciclo está influenciada por el número de tallos producidos en las diferentes cepas. Por esta razón la soca fue el retoño que menos materia seca procedente de los cogollos pudo haber aportado al suelo. Lazo (2000) plantea que existe una correlación positiva entre el número de tallos y el rendimiento agrícola de la caña de azúcar.

El constante aporte de materia seca por parte de los sucesivos retoños implica un aumento del contenido de materia orgánica en el suelo, lo cual quedó demostrado con los análisis químicos realizados. Se pudo verificar que hubo un incremento permanente en los valores de esta propiedad química durante todo el período de estudio, y que este aumento fue más notable entre el 3^{er} y 4^{to} retoño.

Muñoz y Quintero (2010) en un Vertic Haplustoll colombiano plantado con caña de azúcar encontraron un efecto beneficioso de los restos de cosecha en las propiedades del suelo. También Cabrera *et al.* (2001) en un Vertisol plantado con caña de azúcar en el norte de la provincia de Ciego de Ávila encontraron que en la medida que aumentaba

la materia orgánica aumentaba el grado de agregación, el coeficiente de estructura y los agregados estables.

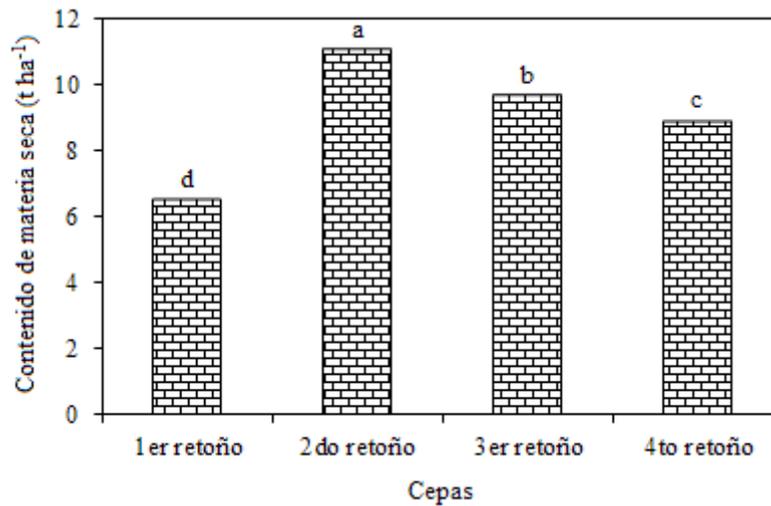


Figura 2.- Influencia de la cepa en la producción de materia seca de la biomasa foliar de la caña de azúcar.

Gutiérrez *et al.* (2012) en un Vertisol del centro de México confirmaron que la materia orgánica disminuye la resistencia del suelo a la penetración, y eleva los niveles de fertilidad y retención de humedad, con el consiguiente mejoramiento de las propiedades químicas y físicas del suelo.

Ohu *et al.* (2009) en un suelo arcilloso ubicado en el noreste de Nigeria encontraron que con la aplicación de restos de cosecha de maní disminuía la tensión de ruptura; y que el incremento del contenido de este material orgánico en el suelo mejoraba la retención de humedad del mismo. Igualmente,

Mamman *et al.* (2007), en un Typic Pellustert también del noreste de Nigeria, apreciaron que con el aumento de la materia orgánica, mediante la incorporación al suelo de restos de cosecha de maní, disminuían la densidad del suelo y la resistencia a la penetración, lo que sugiere una disminución de los efectos de la compactación en el suelo.

Los mayores valores de materia seca se produjeron en el 2^{do} retoño donde se fertilizó con 120 kg ha⁻¹ anual y con 800 kg ha⁻¹ de K₂O al inicio del ciclo (T V y T VIII) y en el 3^{er} retoño del primer tratamiento mencionado (Tabla 5). Entre estos tratamientos no se

encontraron diferencias significativas. Las menores cantidades de materia seca fueron observadas, de forma general, en la soca y, como caso excepcional, en el 3^{er} retoño del T VIII. El comportamiento de la materia seca en esta última interacción se debe a los bajos rendimientos agrícolas. Las interacciones con los comportamientos más pobres son los tratamientos donde se fertilizó con las dosis 120-50-160 anual, 120-50-0 testigo y 0-0-0 testigo absoluto, todas en el 1^{er} retoño.

Tabla 5.- 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	6,02klm	9,51bcdef	9,01cdefgh	7,92fghijk
120-50-0 testigo	5,51lm	11,06bc	9,57bcdef	8,68defghi
120-50-160 anual desde el 2 ^{do} ciclo	6,72ijklm	11,55ab	11,01bc	8,18efghij
120-50-160 anual desde el 3 ^{er} ciclo	8,20efghij	10,77bcd	9,47bcdefg	9,57bcdef
120-50-120 anual	7,38ghijkl	13,45a	13,02a	10,29bcde
120-50-160 anual	5,06m	9,34cdefg	9,55bcdef	8,78defghi
120-50-600 al inicio de cada ciclo	6,24ijklm	10,12bcde	8,96cdefgh	8,66defghi
120-50-800 al inicio de cada ciclo	7,22hijkl	13,24a	6,94hijklm	9,51bcdef

Entre estas interacciones no se encontraron diferencias significativas. Puede apreciarse además que la influencia que ejerce la cepa sobre los contenidos de materia seca es mayor que la de las dosis aplicadas durante la fertilización. Fernández *et al.* (2012) plantea que a medida que se suceden los retoños aumenta la influencia de la cepa sobre los rendimientos agrícolas.

En la Figura 3 se observa que donde se aplicó 120 kg ha⁻¹ de K₂O anual (T V) existió un mejor comportamiento en cuanto al contenido de NPK. En este caso, todos los nutrientes mostraron diferencias altamente significativas con lo determinado en el resto de los tratamientos. En el caso del nitrógeno, al T V (83 kg ha⁻¹) le siguieron los tratamientos donde se fertilizó anualmente con 160 kg ha⁻¹ de potasio a partir del 2^{do} y 3^{er} ciclo, en el que se aplicó al inicio de cada ciclo 800 kg ha⁻¹ del nutriente mencionado, el que se fertilizó anualmente con 160 kg ha⁻¹ y en el que se aplicó de forma residual 600 kg ha⁻¹ de potasio. Entre estos tratamientos no se encontraron diferencias significativas, tampoco difiere significativamente el testigo de los tratamientos antes mencionados, excepto el T III. El testigo absoluto fue el que menor contenido de nitrógeno en la materia seca manifestó, con 52 kg ha⁻¹ y diferencias altamente significativas con el resto de los tratamientos.

Al evaluar la conducta del fósforo, el T V mostró los mayores niveles de este nutriente con 16 kg ha⁻¹ y diferencias altamente significativas con los demás tratamientos. Al T V le sigue en cuanto a tenores de este nutriente en la materia seca de los cogollos el T IV, también con diferencias altamente significativas. Una posición intermedia ocupan los tratamientos donde se fertilizó con 160 kg ha⁻¹ de K₂O anualmente a partir del 2^{do} ciclo, con 600 y 800 kg ha⁻¹ de K₂O al inicio de cada ciclo, el testigo y el tratamiento donde se aplicaron 160 kg ha⁻¹ de K₂O todos los años.

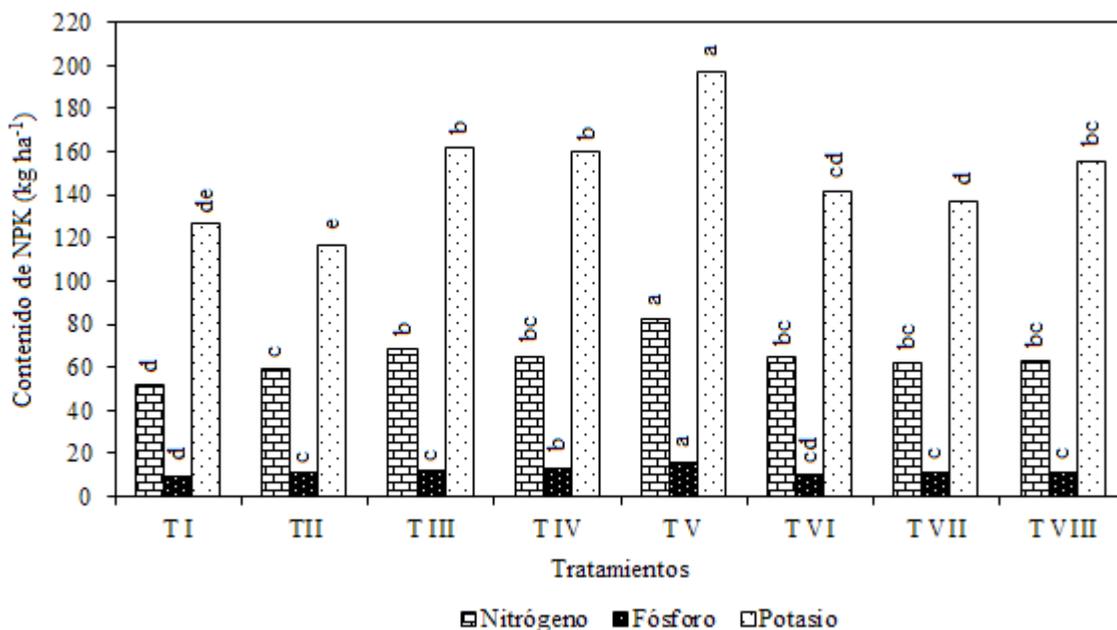


Figura 3.- Influencia de la fertilización potásica en el contenido de NPK en la materia seca de la biomasa foliar de la caña de azúcar.

Este último, en oposición a los demás, no mostró diferencias significativas con el testigo absoluto, que fue el de menor contenido de P_2O_5 (10 kg ha^{-1}). Si se sigue la conducta del potasio se observa que al T V (197 kg ha^{-1}) le continúan los tratamientos T III y T IV, los cuales no mostraron diferencias significativas con el tratamiento donde se aplicó una dosis de 800 kg ha^{-1} al inicio de cada ciclo. Valores inferiores de K_2O arrojaron T VI, T VII y el testigo absoluto. Los dos primeros con diferencias altamente significativas con el testigo, que fue el tratamiento que menos contenido de potasio mostró, con 117 kg ha^{-1} .

Cuellar *et al.* (2002) plantean que la cosecha de la caña de azúcar verde con la incorporación de los residuos al suelo mejora la retención de humedad del mismo, aporta grandes cantidades de nutrientes y materia orgánica y permite un control más efectivo de las malezas; aspectos todos que contribuyen a la disminución del uso de agroquímicos en el campo.

El comportamiento del contenido de NPK en los diferentes tratamientos está dado por el contenido de materia seca y por la composición de la misma, en lo que a estos macroelementos se refiere, en cada uno de los tratamientos.

En la Figura 4 se observan las variaciones en el contenido de nutrientes a medida que transcurre el ciclo de plantación. En el caso del nitrógeno los mayores valores fueron los determinados en el 3^{er} retoño (91 kg ha^{-1}), con diferencias altamente significativas con el resto de las cepas. Se determinó que el nitrógeno encontrado en la materia seca de los cogollos se reportó en menor medida en el 1^{er} retoño (12 kg ha^{-1}). Cuéllar *et al.* (2003) plantean que las necesidades de nitrógeno por parte del cultivo de la caña de azúcar aumentan con el número de cortes.

Al observar el comportamiento del fósforo puede apreciarse que los mayores contenidos de este nutriente en la materia seca de la biomasa aérea de la caña de azúcar se localizaron en el 2^{do}, 4^{to} y 3^{er} retoños (15 kg ha^{-1} en los dos primeros y 14 kg ha^{-1} en el último), los cuales mostraron diferencias altamente significativas con los valores fijados en la soca (4 kg ha^{-1}). Este nutriente fue el que en menor porcentaje se

encontró en el cogollo de las plantas, lo cual coincide con lo planteado por Cuéllar *et al.* (2002), al referirse a las exportaciones con la cosecha de la caña de azúcar del nutriente mencionado.

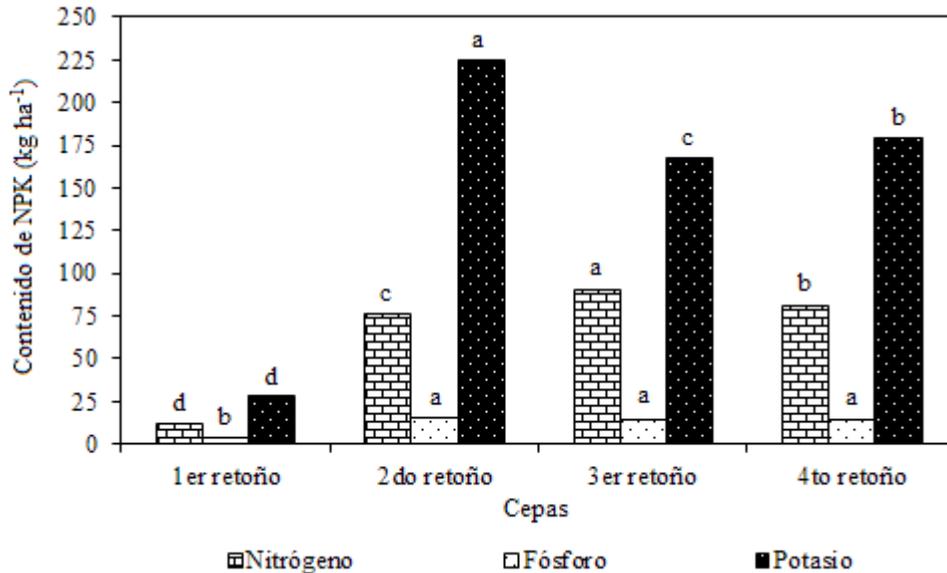


Figura 4.- Influencia de la cepa en el contenido de NPK en la materia seca de la biomasa foliar de la caña de azúcar.

En todas las cepas el potasio fue el nutriente que en mayores cantidades se encontró en el cogollo de la caña de azúcar, destacándose el 2^{do} retoño con 224 kg ha⁻¹. Todos los tratamientos difieren de forma altamente significativa entre sí. El 1^{er} retoño fue la cepa con menos contenido de potasio, con 28 kg ha⁻¹, 8 veces menos que el 2^{do} retoño. Según García y Fernández (2000), Cuéllar *et al.* (2002), Fernández *et al.* (2012) y Kölln *et al.* (2013) las cantidades de potasio que la caña de azúcar extrae del suelo son más abundantes que las de los demás nutrientes.

Para un mejor aprovechamiento de los nutrientes, es necesario evitar la compactación a la que son tan propensos los Vertisoles Crómicos. Por ende, menores valores de densidad del suelo y resistencia del mismo a la penetración favorecen el desarrollo radicular de la caña de azúcar y un aprovechamiento más eficiente de los fertilizantes, con el consiguiente aumento de los rendimientos, más residuos de cosecha y materia orgánica. También en estos suelos deber prestarse especial atención a los

inconvenientes del mal drenaje, pues donde haya problemas de hidromorfía aumentan las pérdidas de nitrógeno (Cuéllar *et al.*, 2003).

La Tabla 6 muestra el contenido de NPK en la biomasa aérea a dejar en el campo en dependencia de la dosis aplicada en cada una de las cuatro cepas.

Tabla 6.- Contenido de NPK en la materia seca en la interacciones fertilización*cepa.

Tratamientos	Cepas			
	1 ^{er} retoño	2 ^{do} retoño	3 ^{er} retoño	4 ^{to} retoño
Nitrógeno (kg ha⁻¹)				
0-0-0 testigo absoluto	8i	57ij	73fghi	72ghi
120-50-0 testigo	9j	72ghi	85cdefg	73fghi
120-50-160 anual desde el 2 ^{do} ciclo	10j	83cdefgh	112b	72ghi
120-50-160 anual desde el 3 ^{er} ciclo	12j	75efghi	90cd	83cdefgh
120-50-120 anual	14j	95c	127a	95c
120-50-160 anual	11j	70hij	88cde	87cdef
120-50-600 al inicio de cada ciclo	15j	70ghij	85cdefg	79defgh
120-50-800 al inicio de cada ciclo	14j	90cd	63ij	89cde
Fósforo (kg ha⁻¹)				
0-0-0 testigo absoluto	4h	12fg	13f	10g
120-50-0 testigo	3h	14cdef	14def	14def
120-50-160 anual desde el 2 ^{do} ciclo	4h	14def	17bcd	15cdef

ciclo				
120-50-160 anual desde el 3^{er} ciclo	6h	16bcde	15cdef	19ab
120-50-120 anual	6h	21a	20a	17bc
120-50-160 anual	4h	13f	13ef	14def
120-50-600 al inicio de cada ciclo	4h	14cdef	14def	15cdef
120-50-800 al inicio de cada ciclo	4h	17bcd	10g	15cdef
<hr/>				
Potasio (kg ha⁻¹)				
0-0-0 testigo absoluto	22j	180efg	169fgh	138ghi
120-50-0 testigo	13j	194def	125hi	137hi
120-50-160 anual desde el 2^{do} ciclo	30j	229bcd	192ef	198def
120-50-160 anual desde el 3^{er} ciclo	37i	239bc	167fgh	200def
120-50-120 anual	35j	302a	240bc	212cde
120-50-160 anual	26j	190efg	163fgh	190efg
120-50-600 al inicio de cada ciclo	28j	198def	152fgh	170fgh
120-50-800 al inicio de cada ciclo	36j	263b	133hi	189efg

La interacción que manifestó mayor contenido de nitrógeno fue donde se fertilizó con 120-50-120 anual en el 3^{er} retoño, seguida por la de la dosis 120-50-160 anual desde el 2^{do} ciclo en la misma cepa.

Casi todas las dosis expresaron sus mejores resultados en esta cepa; mientras que ocurre todo lo contrario en la soca, que expuso los más bajos valores de N_2 , independientemente de la dosis aplicada. De forma general, en todas las cepas, los menores contenidos de N_2 correspondieron a los tratamientos testigo absoluto y testigo.

Las interacciones donde se aplicó la dosis de 120-50-120 anual en el 2^{do} y 3^{er} retoños y 120-50-160 anual desde el 3^{er} ciclo en el 4^{to} retoño fueron las que mayor contenido de fósforo mostraron. Las interacciones con los resultados más pobres se concentraron en el 1^{er} retoño, entre las mismas no se encontraron diferencias significativas. El testigo absoluto mostró muy bajos contenidos de P_2O_5 durante todo el ciclo.

Al estudiar el comportamiento de los contenidos de potasio se observó que las interacciones de mejor respuesta se concentran en el 2^{do} retoño, destacándose el T V con diferencias altamente significativas, seguida por las dosis 120-50-800 al inicio de cada ciclo, 120-50-120 anual (esta, en el 3^{er} retoño), 120-50-160 anual desde el 3^{er} ciclo 120-50-160 anual desde el 2^{do} ciclo. Los tenores de K_2O en la materia seca de los cogollos se concentran en las interacciones que coinciden con el 1^{er} retoño.

CONCLUSIONES

En cuanto al contenido de materia seca en la biomasa foliar (cogollo) de la caña de azúcar, el mejor tratamiento fue donde se aplicó una dosis de 120 kg ha^{-1} de potasio todos los años (T V).

La cepa 2^{do} retoño mostró el mayor contenido de materia seca en los cogollos, con una disminución gradual de la misma hasta el final del ciclo.

Por el comportamiento de la interacción fertilización*cepa puede apreciarse la mayor influencia de la cepa en el contenido de materia seca y de nutrientes

El tratamiento V fue el de mayor contenido de nutrientes en la materia seca de los cogollos.

La cepa 3^{er} retoño fue la de mayor contenido de nitrógeno en la materia seca de los cogollos. El 2^{do}, 4^{to} y 3^{er} retoños acumularon los mayores tenores de fósforo. En el caso del potasio, el 3^{er} retoño fue el de mayores resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertsch, F. (1995). La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Camargo, P. D. (1976). *Fisiología de la caña de azúcar* (No. Folleto 3330Y). Comisión Nacional de la Industria Azucarera. México.
- Carvalho, J. L. N., Otto, R., Franco, H. C. J., & Trivelin, P. C. O. (2013). Input of sugarcane post-harvest residues into the soil. *Scientia Agricola*, 70, 336-344.
- Cristancho, J. A., Alfonso, O. A., & Molina, D. L. Revisión de literatura sobre el papel del suelo y la nutrición de plantas en la Pudrición del cogollo de la palma de aceite The Role of Soil and Plant Nutrition on Oil Palm Bud Rot Disease: a Review. v. 33, no. 2 (2012), p. 9-220121-2923, (A-).
- Cruzate, G. A. (2001). Caracterización y cartografía de los materiales parentales de los suelos del centro de la Región Pampeana mediante el procesamiento geoestadístico de parámetros químicos y físicos. *Convenio Facultad de Agronomía UBA-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA*.
- Cuéllar Ayala, I. A., de Leon Ortiz, M. E., Gómez Ruiz, A., Piñón Gómez, D., Villegas Delgado, R., & Santana Aguilar, I. (2003). Caña de azúcar: paradigma de sostenibilidad.
- Cuéllar Ayala, I. A., Villegas Delgado, R., de Leon Ortiz, M. E., & Perez Iglesias, H. (2002). Manual de fertilización de la caña de azúcar en Cuba.
- Cuellar I. (1983). El potasio en los principales tipos de suelos de las plantaciones cañeras de Cuba y efectividad de la fertilización potásica de la caña de azúcar. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas. INICA. Ciudad de La Habana. 115 p.
- Fernández, E. A., García, E., Campo, J., Justiz, R., Cuadras, F., & García, Y. (2012). Los suelos y la fertilización de la caña de azúcar. *Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, La Habana, Cuba*.

- García, E., & Vázquez, E. F. (2000). Los suelos y la fertilización de la caña de azúcar. *Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar, La Habana, Cuba.*
- García, F. (1988). Manual de fertilidad de suelos. Atlanta, Georgia, EE.UU. INPOFOS. 85p.
- García, J. C., Scarpari, M. S., Landell, M. G., & Cologna, A. A. (2010). Use of organomineral fertilisers on sugarcane productivity in a typic haplustox soil. *Proceedings of International Society Sugar Cane Technologist. ISSCT, Georgetown, MA, USA.*
- Gutiérrez-Rodríguez, F., González-Huerta, A., Pérez-López, D. D. J., Franco-Mora, O., Morales-Rosales, E. J., Saldívar-Iglesias, P., & Martínez-Rueda, C. G. (2012). Compactación inducida por el rodaje de tractores agrícolas en un Vertisol. *Terra Latinoamericana*, 30(1), 1-7.
- Hernández, A., Pérez, J. & Rivero, L. D. (2015). Nueva versión de clasificación genética de suelos de Cuba. AGRINFOR, Minagri, Instituto de suelo. 2015, 91 p.
- INICA. (1986). Descripción de perfiles de la Red Geográfica Experimental. Holguín. Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, La Habana. 60 pp.
- Kölln, O. T., Gava, G. J. C., Cantarella, H., Franco, H. C. J., Rhein, A. F. L., & Trivelin, P. C. O. (2013). Macronutrient accumulation and export in sugarcane as affected by N rate under subsurface drip irrigation. In *International Society of Sugar Cane Technologists: Proceedings of the XXVIIIth Congress, June 24 to June 27, 2013, São Paulo, Brazil*. Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB) & The XXVIIIth ISSCT Organising Committee.
- Kwong, K. F. N. K. (2007). Sugar production: integration among sugar, alcohol, residue cycling and sustainability-a report on the 2009 agronomy workshop. *Revue Agricole et Sucrière de l'Île Maurice*, 86(2/3), 26-30.
- Lazcano-Ferrat, I. (1999). *El potasio... esencial para un buen rendimiento en la caña de azúcar* (No. 01935). Instituto de la Potasa y el Fósforo.
- Lazo, M. (2000). Relación población-rendimiento de la caña de azúcar en condiciones de producción. *ATAC*, 62(2), 13-16.

- Mamman, E., Ohu, J. O., & Crowther, T. (2007). Effect of soil compaction and organic matter on the early growth of maize [*Zea mays*] in a vertisol. *International Agrophysics*, 21(4), 367-375.
- Marasca, I., Da Silva, R. B., Sartori, M. M. P., Gonçalves, A. P., & Lanças, K. P. (2015). Morfología de la caña de azúcar en la preparación profunda del suelo en canteros. *Idesia*, 33(4), 23-29.
- Marroquín, O. (2014). Uso de siete densidades de siembra. Guatemala.
- Melgar, M., Meneses, A., Orozco, H., Pérez, O., & Espinosa, R. (2012). *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala* (No. 633.61097281 C967). Artemis Edinter.
- Méndez-Adorno, J. M., Salgado-García, S., Lagunes-Espinoza, L. C., Mendoza-Hernández, J. R. H., Castelán-Estrada, M., Córdova-Sánchez, S., & Hidalgo-Moreno, C. I. (2016). Relación entre parámetros fisiológicos en cana de azúcar (*Saccharum spp.*) bajo suspensión de riego previo a la cosecha. *AGROProductividad*, 9(3), 15-21.
- Meyer, J., Rein, P., Turner, P., Mathias, K., & McGregor, C. (2011). Good management practices manual for the cane sugar industry (final). *PGBI Sugar and Bio Energy, Johannesburg, South Africa*.
- MORALES, L., & ARIZPE, A. S. *LA NUTRICION Y SU RELACION CON EL SINDROME DE LA PUNTA MORADA DE LA PAPA./EUDIEL LOPEZ MORALES* (No. SB608. P8. L66 2008.).
- Moreira, S. C., Fernández, N., & 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.
- Munévar, F. (2004). Relación entre la nutrición y las enfermedades de las plantas. *Revista Palmas*, 25(especial,), 171-178.
- Muñoz-Arboleda, F., & Quintero-Duran, R. (2009). Trash management after green cane harvesting and its effect on productivity and soil respiration. In *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol* (Vol. 27, pp. 1-6).

- Ohu, J. O., Mamman, E., & Mustapha, A. A. (2009). Impact of organic material incorporation with soil in relation to their shear strength and water properties. *International Agrophysics*, 23(2), 155-162.
- Pérez Iglesias, H. I., Santana Aguilar, I., & Rodríguez Delgado, I. Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar
- Pérez, O. (2001). Fertilización nitrogenada en caña de azúcar. Síntesis de resultados de investigación en la zona cañera de Guatemala. In *Memoria de X Congreso Nacional de la Caña de Azúcar. ATAGUA. Guatemala* (pp. 98-104).
- Pérez, O., Hernández, F., Azañon, V., Garcia, C., Ramírez, C., Cifuentes, V., ... & Santa Ana, I. (2011). Nutrientes limitantes en el cultivo de caña de azúcar en suelos de baja productividad de la zona cañera de Guatemala. In *Memorias del XII Congreso ATAGUA, Guatemala*.
- Rengel, M., Gil, F., & Montaña, J. (2011). Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. I. Macronutrientes. *Bioagro*, 23(1), 43-50.
- Rivera Rosado, F. J. (2014). EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZUCAR (*Saccharum officinarum* L.) EN LA REGION DE CARDEL, CENTRO DE VERACRUZ.
- Rossetto, R., Dias, F. L. F., Landell, M. G. A., Cantarella, H., Tavares, S., Vitti, A. C., & Perecin, D. (2010). N and K fertilisation of sugarcane ratoons harvested without burning. *Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologist*, 27, 1-8.
- Salgado, S., Núñez, R., J Peña, J., Etchevers, J. D., Palma, D. J., & Soto, R. M. (2003). Manejo de la fertilización en el rendimiento, calidad del jugo y actividad de invertasas en caña de azúcar. *Interciencia*, 28(10), 576-580.
- Sanchez, S. C., Arévalo, R. A., Sanomya, R. M., Bertoncini, E. I., Cordero, L. Ú. A., Chaila, S., & de Lourdes Fustaino, M. (2014). *Saccharum* spp. en Brasil. Una revisión. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(3), 49-64.
- Sandhu, H. S., Gilbert, R. A., Kingston, G., Subiros, J. F., Morgan, K., Rice, R. W., ... & Davis, L. (2013). Effect of sugarcane harvest residue on nutrient recycling and

cane yield. *Proceedings of International Society Sugar Cane Technologists*, 28, 1-3.

Solórzano, H. (1998). Determinación del grado de tolerancia a nueve herbicidas y cinco variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) en la Estación Experimental Camantulul, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla. Tesis para optar por el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

Subiros, F. (2000). El cultivo de la caña de azúcar. *EUNED*. San José, Costa Rica.

Takkar, P. N., & Walker, C. D. (1993). The distribution and correction of zinc deficiency. In *Zinc in soils and plants* (pp. 151-165). Springer, Dordrecht.

Villazón Gómez, J. A., Martín Gutiérrez, G., Cobo Vidal, Y., Rodríguez Ortiz, Y., & Montero Sarría, B. (2016). Materia seca y macroelementos primarios en la biomasa foliar de la caña de azúcar fertilizada con diferentes dosis de potasio. *Centro Agrícola*, 43(1), 5-14.