

ARTÍCULO ORIGINAL

Curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) variedad RB 72-454 en la zona de Montelima, en el Valle del Chira, Piura-Perú

Nutrient absorption curves in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) variety RB 72-454 IN Montelima, Valley of Chira, Piura-Peru

Josué Carlos Nieves Mejía ^{1a}, Carlos Enrique San Martín Zapata ^{1b}, Javier Alexander Armas Reaño ^{2c}, Luis Conrado Guzmán Farfán ^{1d}, Arturo Adolfo Arbulú Zuazo ^{3e*}, Néstor Ramón Mogollón Purizaga ^{4f}

¹ Facultad Agronomía. Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú

² Caynarachi S.A., Tarapoto, Perú

³ Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica Agroindustrial Piura (CITE Agroindustrial Piura) Piura, Perú

⁴ International Adventist Development Relief Agency (ADRA International, USA), Maryland, Estados Unidos

^a josue.nieves.agro@gmail.com, ^b sanmartinzapatacarlosdr@gmail.com ^c jalex1475@hotmail.com, ^d

lguzman_59@hotmail.com, ^e arturo.arbulu@citeagropiura.org ^f nestor.mogollon@adra.org

* Autor de correspondencia

| Recibido: 04/03/24 |

| Arbitrado por pares |

| Aceptado: 15/06/24 |

Resumen

La investigación fue conducida en el fundo Montelima, de la empresa Agrícola del Chira S.A. Caña Brava, ubicado en el distrito de Ignacio Escudero, provincia de Sullana, departamento de Piura, Perú, entre setiembre de 2017 a octubre de 2018. El objetivo principal fue la determinación de las curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) variedad RB 72-454. El área de trabajo fue de 3.63 has, haciéndose evaluaciones mensuales de muestras de tejidos vegetales para determinar la materia seca y los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe y B presentes en la raíz, tallo, follaje y cepa. En el experimento se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con tres repeticiones. Se determinó que, los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en el follaje y tallo tuvieron un comportamiento en ascenso, siendo mayor en el follaje para N y P en el mes 9, y en el tallo para el K en el mes 8, mientras que en la raíz y cepa no hubo mucha variación, siendo los niveles mínimos. Los contenidos de calcio y magnesio fueron mayores en

el follaje. El potasio fue el elemento que más se acumuló en los órganos de la planta. De los micro elementos, el hierro fue el que más absorción presentó. El patrón de absorción de nutrientes fue: K>N>Ca>Mg>P>Fe>Mn>B>Zn>Cu. El mayor porcentaje de materia seca se encontró en el tallo de caña de azúcar con 64.81%.

Palabras Claves: Absorción, nutrientes, soca, materia seca, análisis foliar

Abstract

The research was established in the company Agrícola del Chira S.A. Caña Brava. The crop was carried out since September 2017 to October 2018, having as the main objective the determination of the nutrient absorption curves in sugarcane crop (*Saccharum officinarum* L.) variety RB 72-454 in the zone of Montelima, valley of Chira, Piura, Peru. This work was developed in an area of 3.63 has. Monthly evaluations of vegetable tissue were made to determine dry matter, macro and micro elements (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu, Fe, B) in root, stem, foliage and strain. The experiment used a Complete Randomized Block Design (BCA) with three blocks. The research results obtained were that the contents of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in the foliage and stem had a rising behavior; N and P were greater in foliage in month 9 while K was in stem on month 8; in root and strain reached minor levels and without any variation; calcium (Ca) and magnesium (Mg) were greater in the foliage. The K was the most accumulated element in all plant organs. The Iron (Fe) was the major absorption micro element. The experiment absorption pattern was K>N>Ca>Mg>P>Fe>Mn>B>Zn>Cu. The greater dry matter percentage was in the stem with 64.81%.

Key words: Absorption, nutrients, soca, dry matter, tissue analyses

Introducción

El cultivo de caña de azúcar en el departamento de Piura es importante por las hectáreas instaladas por pequeños productores en la Sierra, también ingenios azucareros de Norandino y las más importantes son las 7,300 hectáreas del Ingenio Agroaurora y más de 9,500 hectáreas de producción de la Empresa Caña Brava (AGRARIA, 2020b); y por los subproductos que se obtienen, los cuales son exportables como: azúcar, cachaza, levadura de torula, sorbitol, dextrina, furfural, saccharina, caña como alimento animal, guarapo, paja, cogollos de la caña, melaza (mieles), biodiesel, alcoholes, bagazo, tableros, papel y bagacillo. La caña de azúcar es considerada uno de los principales cultivos agroindustriales en el Perú, porque genera un aporte importante al valor bruto de la producción agropecuaria y en especial en el subsector agrícola. Al 2019, la caña de azúcar contribuyó con el 3% del PBI del país, y existían 160,000 hectáreas ubicadas principalmente en Lambayeque, La

Libertad, Lima, Áncash, Piura y Arequipa con un rendimiento promedio de 125 t/ha, que es el mayor rendimiento en el mundo según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) (AGRARIA, 2020a). La producción de caña de azúcar reviste gran importancia no solo por su contribución al desarrollo agrícola e industrial, sino también por su capacidad para crear gran cantidad de empleos, además de la generación y captación de divisas y el suplemento calórico de la dieta alimentaria, producción de alcohol, componentes alimenticios para animales, bebidas gaseosas, papel, repostería y dulces.

Uno de los limitantes destacados de la producción competitiva se encuentra en el manejo integrado del cultivo, afectado por la presencia de deficiencias de macro y micronutrientes, el bajo contenido de materia orgánica, además la deficiencia en la fertilización que hace que se pierdan recursos invertidos. En tal sentido es esencial realizar estudios relacionados al consumo de nutrientes, tal como las curvas de absorción, que brindan información precisa sobre la cantidad óptima de nutrientes, correlacionándose con la materia seca y la edad de la planta, permitiendo identificar las épocas de mayor exigencia, la importancia de los nutrientes en los órganos y la cantidad de nutrientes exportada por cosecha (González et al, 2018).

Los estudios de absorción contabilizan, de una u otra forma, la extracción o consumo de nutrientes de un cultivo para completar su ciclo de producción. Estos estudios no constituyen una herramienta de diagnóstico como lo es el análisis foliar, sino más bien, contribuye a dar solidez a los programas de fertilización. Concretamente, permiten conocer la cantidad de nutrientes que es absorbida por un cultivo para dar un rendimiento dado, en un tiempo definido (INPOFOS, 2004).

Las curvas de absorción de nutrientes dan información sobre la cantidad de nutrientes que consume el cultivo en su ciclo de vida y nos determina el período de alta demanda de nutrientes y por lo tanto el mejor momento de aplicación de nutrientes (Mite, 2005). Estas curvas de absorción de nutrientes, se elaboran mediante la interacción del peso seco de los tejidos de la planta y las concentraciones de nutrientes en los tejidos y la savia. Las curvas permiten conocer la dinámica de absorción de los diferentes nutrientes durante el ciclo de cultivo y su relación con las diferentes etapas fenológicas. Con las gráficas es fácil comparar las distintas tendencias de absorción total y la absorción de nutrientes de cada tejido. Esta información es valiosa para diseñar estrategias de manejo de la nutrición del cultivo (Bertsch, 2003).

La investigación tuvo como objetivo general, determinar las curvas de absorción de macro y micronutrientes en la raíz, cepa, tallo y hojas de la planta de caña de azúcar, y los objetivos específicos fueron: determinar los momentos de mayor absorción de cada uno de los macro y micro elementos, definir el patrón de absorción de nutrientes, la extracción de nutrientes por tonelada de producto cosechado según el rendimiento obtenido y la producción de materia seca para la variedad RB 72-454.

Metodología

La investigación tuvo una duración de 01 año (setiembre del 2017 hasta octubre del 2018) y se realizó en el fundo Monte Lima ubicado en el distrito de Ignacio Escudero, provincia de Sullana, departamento de Piura, con las siguientes coordenadas UTM Datum – PSAD – 56: norte 9 467 112; este 508 306 y con una altitud de 50 m.s.n.m. Los datos meteorológicos de la zona del experimento se registran en la Tabla 1.

Tabla 1

Condiciones climatológicas de la zona del experimento (setiembre del 2017 a octubre del 2018)

Fecha	T° máx (°C)	T° min (°C)	T° media (°C)	Horas de sol	Lluvia (mm.)	Energía Solar (Ly)	Velocidad del viento (Km/h)	Humedad relativa (%)
Setiembre 2017	30.1	15.2	20.15	280	105.41	14575.50	33.8	71.84
Octubre 2017	30.6	16.1	22.85	283	0.50	14042.58	30.6	74.98
Noviembre 2017	31	15.5	20.91	293	0.25	14023.18	29.0	75.05
Diciembre 2017	30.6	16.1	23.71	283	0.50	14042.58	30.6	72.65
Enero 2018	33.9	19.1	25.40	316	2.01	15784.65	37.0	68.65
Febrero 2018	34.2	20.9	26.69	271	5.08	12683.56	32.2	67.00
Marzo 2018	35.6	19.8	26.20	305	0	15813.01	40.2	66.27
Abril 2018	33.7	19.6	25.44	286	15.49	13781.28	29.0	68.75
Mayo 2018	32.9	17.4	23.19	276	4.53	12086.07	24.1	73.43
Junio 2018	29.3	15.9	21.11	270	0	10903.13	25.7	77.43
Julio 2018	29.4	16.2	20.55	269	0	10339.16	27.4	78.07
Agosto 2018	29.1	16.9	20.70	276	0	12557.16	27.4	77.22
Setiembre 2018	31.2	16.2	20.88	283	0	14069.34	30.6	76.22
Octubre 2018	30.2	16.4	21.04	291	0	13395.04	30.6	76.27
Promedio	31.56	17.24	22.77	284.43	9.56	13435.45	30.59	73.13

Fuente: Estación meteorológica Agrícola del Chira S.A. Caña Brava - Montelima.

La temperatura promedio de setiembre a diciembre 2017 y de enero a octubre 2018, osciló entre 20.15°C a 26.69°C, con una media de 22.77°C. Las horas de sol por mes variaron de 269 a 316. La precipitación varió de 0 – 105 mm, siendo muy baja en comparación a las zonas cañeras del mundo cuya precipitación varía de 1050 – 2500 mm ([Peña, 1997](#)). La energía solar osciló entre 10339.16 a 15813.01. La velocidad del viento varió de 24.1 a 40.2 Km/h y la humedad relativa estuvo entre 66.27% a 78.07%. Estas condiciones meteorológicas son apropiadas y excepcionales en el mundo para el cultivo de caña de azúcar pues supera los 19 grados Celsius, con una diferencia entre el día y la noche superior a 12 grados y además por presentar precipitaciones de 120 mm al año, lo que permite sembrar y cosechar y administrar la planta todo el año ([ANDINA, 2010](#)).

En la Tabla 2 se indican los resultados del análisis de suelo.

Tabla 2

Análisis de suelo del campo experimental de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en los meses 1, 6 y 13 después del brotamiento

	Mes 1			Mes 6			Mes 13		
RESULTADOS	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Granulometría/	Fco.	Fco.	Fco.	Fco.	Fco.	Fco.	Fco.	Fco.	Fco.
Textura	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso	Arenoso
Arena (%)	70	72.6	75	68.3	74.1	71.6	58	65.8	70
Arcilla (%)	17.5	17.5	17.5	16.7	16.7	18.4	17.5	16.7	15
Limo (%)	12.5	10	7.5	15	9.2	10	24.2	17.5	15
pH (1:1 v/v)	7.6	7.3	7.4	7.7	7.7	7.8	7.9	8	7.9
C.E (ds/m)	0.5	5.07	5.55	2.27	1.32	4.14	1.8	1.3	2
% Na intercambiable	0.54	0.48	0.59	0.87	0.8	0.69	0.6	0.8	0.6
Na cambiabile (meq/100gr)	0.09	0.11	0.13	0.21	0.21	0.18	0.2	0.2	0.2
Na disponible (meq/100gr)	0.5	1.01	1.39	1.77	1.32	1.46	1.1	1	1
CaCO₃ (%)	3.8	5.9	3.95	3.94	5	3.92	3.7	3.6	4.7
Ca cambiabile (meq/100 gr)	15.46	20.48	21.43	20.51	23.55	24.54	21.5	19.6	24.2
Mg cambiabile (meq/100 gr)	1.59	1.14	0.69	2.27	1.92	1.09	2.6	1.8	1.4
K cambiabile (meq/100 gr)	0.23	0.26	0.28	0.65	0.32	0.29	0.7	0.4	0.3
Ca disponible (meq/100 gr)	15.77	25.49	29.58	21.44	23.81	34.11	22.6	22.8	27.7
Mg disponible (meq/100 gr)	1.86	1.74	1.11	2.53	2.1	1.54	2.7	2.1	1.7
K disponible (ppm)	119.95	156.62	158.83	340.34	167.07	177.78	323.7	187.6	166.1
M.O (%)	0.42	0.12	0.11	0.5	0.046	0.009	0.5	0.2	0.1
CIC (meq/100 gr)	17.38	21.99	22.53	23.64	26	26.11	25	21.9	26.1
N total (%)	0.02	0.009	0.009	0.023	0.009	0.009	0.027	0.013	0.009
P disponible (mg/kg)	4.4	3.9	4.2	11	4	4.2	6.7	3.8	4.4
B soluble (ppm)	0.19	0.19	0.19	0.53	0.3	0.27	0.3	0.1	0.1
Fe (ppm)	22.4	14.1	12.6	20.1	17.7	13.0	7.8	6.9	8
Zn (ppm)	0.6	0.3	0.2	1.8	0.1	0.2	0.4	0.2	0.3
Cu (ppm)	3	1.2	0.6	5.6	1.53	1.1	3.2	1.2	1.1
Mn (ppm)	4.8	1.1	0.5	9.03	2.73	1.1	5.1	1.2	1
Saturación de bases (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Agrícola del Chira S.A. Caña Brava - Montelima

Las determinaciones se realizaron en el laboratorio de suelos de la empresa S.G.S. de Perú; y en el laboratorio del Departamento de suelos de la Facultad de Agronomía de la UNP, donde solo se determinó el color del suelo. Estos resultados fueron: De 0 a 30 cm en los sectores 1,2 y 3 el color en suelo húmedo fue 10YR 3/3 Dark

Brown y 2.5 YR 3/2 Dark Grayish Brown.

Se trató de un suelo con una clase textural franco arenosa. El pH de 0-30 cm. varió de 7.6 - 7.9, de 30-60 cm. osciló entre 7.3-8.0 y de 60-90 cm. entre 7.4-7.9, siendo en todos los casos ligeramente alcalinos. La conductividad eléctrica ha sido variable, siendo mayor al inicio. El carbonato de calcio ha sido bajo. La capacidad de intercambio catiónico de 0-30 cm al mes 1 fue de 17,38 meq/100 gr, al mes 6 fue de 23,64 meq/100 gr y al mes 13 fue de 25 meq/100 gr, siendo en todos los casos altos al nivel de la CIC. El nivel de nitrógeno y el fósforo, en todas las evaluaciones, fue bajo, y el potasio medio.

A) Descripción del Objeto en estudio

Área experimental

Se trabajó en un área experimental de 3.63 has, dividida en 3 sectores y se utilizaron individuos del género *Saccharum officinarum* L. variedad RB 72-454, de los cuales la muestra de estudio estuvo constituida por porciones de la planta.

Análisis Estadístico

En el trabajo se utilizó el diseño estadístico de bloques completos al azar (BCA) con 13 tratamientos (meses) y 3 repeticiones para el Análisis de Varianza (ANVA) de los nutrientes estudiados y la prueba de Duncan 0.05 para la comparación de los promedios. Para la comparación de la materia seca de los órganos de la planta se empleó el diseño el BCA con 4 tratamientos (raíz, cepa, tallo y follaje) y 3 repeticiones.

Evolución de materia seca

Se evaluó la evolución de materia seca a través de los meses, tomando el peso inicial de la muestra representativa (peso fresco) para cada órgano y finalmente el peso de la muestra después de haber sido procesada en la estufa (peso seco) para luego ser llevada a hectárea.

Parámetros evaluados en la determinación de los macro y micronutrientes

Análisis del follaje, tallos, raíces y cepas:

Nitrógeno: Protein in animal feed.

boro, calcio, cobre, hierro, potasio, magnesio, manganeso, fósforo, zinc: Determinación de metales en muestras orgánicas por espectroscopia óptica por plasma acoplado inductivamente. Digestión horno microondas.

Muestreo de raíz, cepa, tallo y hojas

Metodología y evaluación

Se realizó el muestreo en los tres sectores en 4 metros lineales por cada uno y luego se pesó cada órgano muestreado para luego ser llevado a un metro lineal.

Toma de la muestra

Se extrajo todo el material vegetal (raíz, cepa, tallo y hojas) de 4 metros lineales de surco en un ancho de 1.6 metros hasta la profundidad con presencia de raíces.

*Parámetros evaluados**Concentración mensual de nutrientes*

Del material vegetal muestreado (raíz, cepa, tallos y follaje), se obtuvieron datos de concentración de nutrientes por cada repetición de 4 metros lineales y con una frecuencia mensual. Estos datos se procesaron de la siguiente forma:

La concentración de nutrientes determinado en el laboratorio se multiplicó por el peso seco para obtener la cantidad de nutrientes. Se determinaron los siguientes elementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y boro (B).

Las cantidades de elementos expresados en porcentaje o en miligramos se transformaron a kilos por metro lineal mensual y luego se multiplican por los metros lineales de una hectárea mensual de acumulación de nutrientes.

El promedio de las 3 repeticiones se consideró como el nivel nutricional representativo en kilos por metro lineal para el momento de muestreo y por órgano de la planta. La suma de los nutrientes del follaje, tallos y raíces representaron el estado nutricional de toda la planta.

Estos análisis fueron realizados por el laboratorio de la empresa SGS del Perú.

B) Metodología de la cronología y actividades del cultivo

Las diferentes labores del cultivo desarrolladas durante la investigación, así las actividades realizadas y su cronología se describen en la Tabla 3.

Tabla 3*Labores de cultivo, cronología y actividades*

Labores de cultivo	Época del cultivo	Actividades
Conducción del cultivo	Inicio: a los 6 días de concluída las labores post cosecha	Entable: reposición del agua en sistema por goteo. Promover el brotamiento
Marcación del campo	A los 3 días del entable	Dividir el campo en 3 sectores. Cada sector con 39 líneas, con una separación de 1.6 m entre líneas.

Control de malezas	A los 5 días después del entable A los 40 días A los 65 días	0.98 ha/sector y separación de 10 líneas entre sectores Primera aplicación de herbicidas pre emergentes. Segunda aplicación de post emergente llamado desmanche. Última aplicación llamada redondeo Aplicación de glifosato en zonas húmedas. También controles de malezas con uso de palanas u hoz.
Riego	Continuo	Riego por goteo. Una demanda de 19,473.19 m ³
Fertilización	300 días de manejo Primer mes y mensualmente A los 7 meses Segundo mes	Aplicación por fertiriego a partir del primer mes. La fertilización nitrogenada fraccionada. El fósforo como ácido fosfórico al 85%. Se aplicó Mn 3.14%+Zn 7.34%+S 5.39% En la Tabla 4 se presenta la riqueza de los insumos usados.
Prevención y Control fitosanitario	Cada 20 días a partir del día 45 hasta el día 245 después de la soca. Desde los 60 días hasta los 270 días, con frecuencia de 10 días.	Monitoreo: evaluación de pulgón, ácaros, <i>Diatraea saccharalis</i> y roya. Se utilizó insectos benéficos como <i>Cotesia flavipes</i> para <i>Diatraea saccharalis</i> . Uso de trampas. Aplicaciones del insecticida Imidacloprid vía el sistema de riego para control de pulgón.
Cosecha	A los 13 meses	Soca 7

Tabla 4

Riqueza en porcentaje y en kilogramos de los insumos usados en la fertilización para la caña de azúcar en Agrícola del Chira

Riquezas de los insumos Agrícola del Chira													
Fuente	Unidad	%N	%P	%K	%Ca	%S	%Mg	%Mn	%Fe	%Zn	%Mo	%Na	%Cl
Urea	kg	46											
Ácido fosfórico	kg		61.5										
Chira 16 Fosfato de Ferro - Vivianita	kg					4.6	2.1		4.3	2.1			
	kg		34.4	1.0					10.8				
Vinaza	m ³		1	5.8	0.9	3.0	0.4	0.0012	0.011	0.00062		0.4	9.9

Fuente	Cantidad/ha	N	P	K	Ca	S	Mg	Mn	Fe	Zn	Mo	Na	Cl
Urea	378.5	174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ácido fosfórico	10	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Chira 16	42.4	0	0	0	0	2.0	0.9	0.0	1.8	0.9	0	0	0
Fosfato de Ferro - Vivianita	44.7	0.0	15.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Vinaza	278	0.0	280.5	1614.5	256.8	828.4	101.4	0.3	3.0	0.17	0.0	103.9	2752.5
		174	302	1615	257	830.4	102.3	0.3	9.7	1.1	0.0	103.9	2752.5

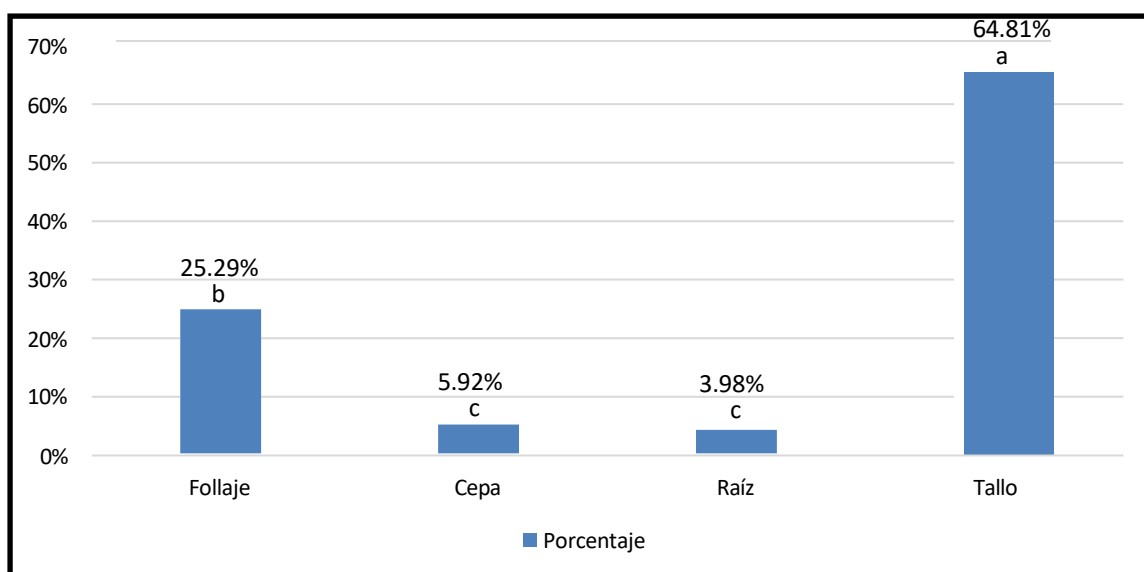
Resultados y discusión

Materia Seca

En la Figura 1, se observa la distribución porcentual de la materia seca en los órganos de planta. En los tallos se encontró el mayor valor significativo con 64.81%, seguido por el follaje que alcanzó 25.29%. La cepa y la raíz obtuvieron valores muy bajos muy similares, de 5.92% y 3.98% respectivamente. Estos resultados son similares a los obtenidos en otras investigaciones que indican que los tallos y el tejido foliar alcanzan los mayores porcentajes de biomasa seca correspondiendo 75.1% a tallos y 24.9% al follaje (Rengel et al, 2011). Algunas investigaciones similares señalan una producción de biomasa seca en tallos de 71%. Estas diferencias en cuanto a la acumulación y distribución de biomasa pueden estar vinculado a factores genéticos y climáticos, así como a la intensidad de manejo del cultivo (Coale et al, 1993).

Figura 1

Aporte porcentual de la materia seca en el cultivo de Caña de Azúcar

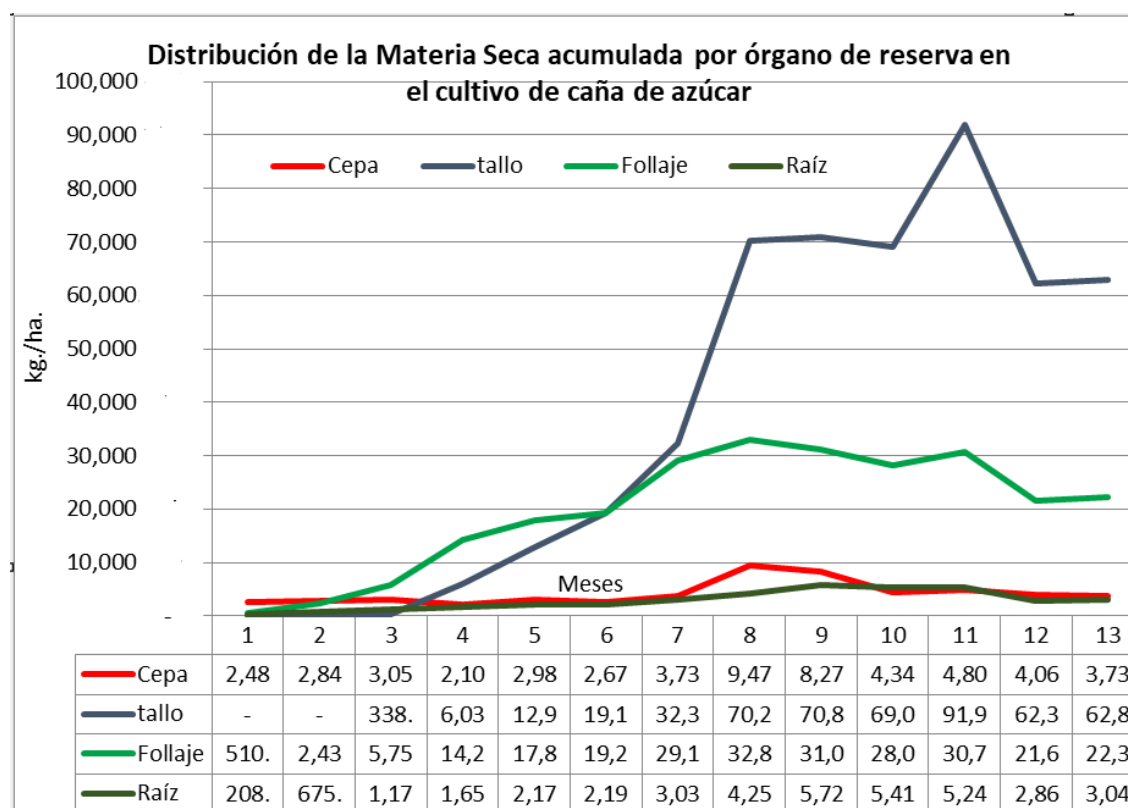


NOTA: Las letras diferentes por encima de las barras indican significación para la prueba Duncan 0.05

En cuanto a la distribución mensual de la materia seca presente en los órganos de la planta: raíz, tallo, follaje y cepa, Figura 2, se observa que tanto el tallo como el follaje empiezan a aumentar a partir del tercer mes después del brotamiento. El incremento en los tallos alcanza su pico al mes once para luego disminuir hasta el mes trece; en cambio el follaje alcanza su mayor valor al mes ocho y se mantiene así hasta el mes once para luego disminuir. Existe pues un sostenido crecimiento de la materia seca a partir del mes 9 y hasta el mes 15 porque hay una adecuada tasa fotosintética que promueve la acumulación y donde la sacarosa aumenta con la edad en la materia seca de los tallos y puede representar entre 47-52% (CENICAÑA, 2000). Investigaciones similares señalan que es a partir del séptimo mes que se inicia la mayor producción de tallos en relación a hojas y vainas y por consiguiente una mayor producción de materia seca (Rengel et al, 2011). Con respecto a la mayor cantidad de materia seca obtenida para tallos y hojas en la investigación, 91.639 y 35.721 t/ha respectivamente, éstos son superiores a los obtenidos en otras investigaciones (Izquierdo, 2021; Villazón et al, 2016a; Villazón et al, 2016b) debido probablemente a factores genéticos, climáticos, de suelos y de manejo del cultivo.

Figura 2

Distribución mensual de la materia seca (kg/ha) acumulada por órgano de reserva en el cultivo de caña de azúcar



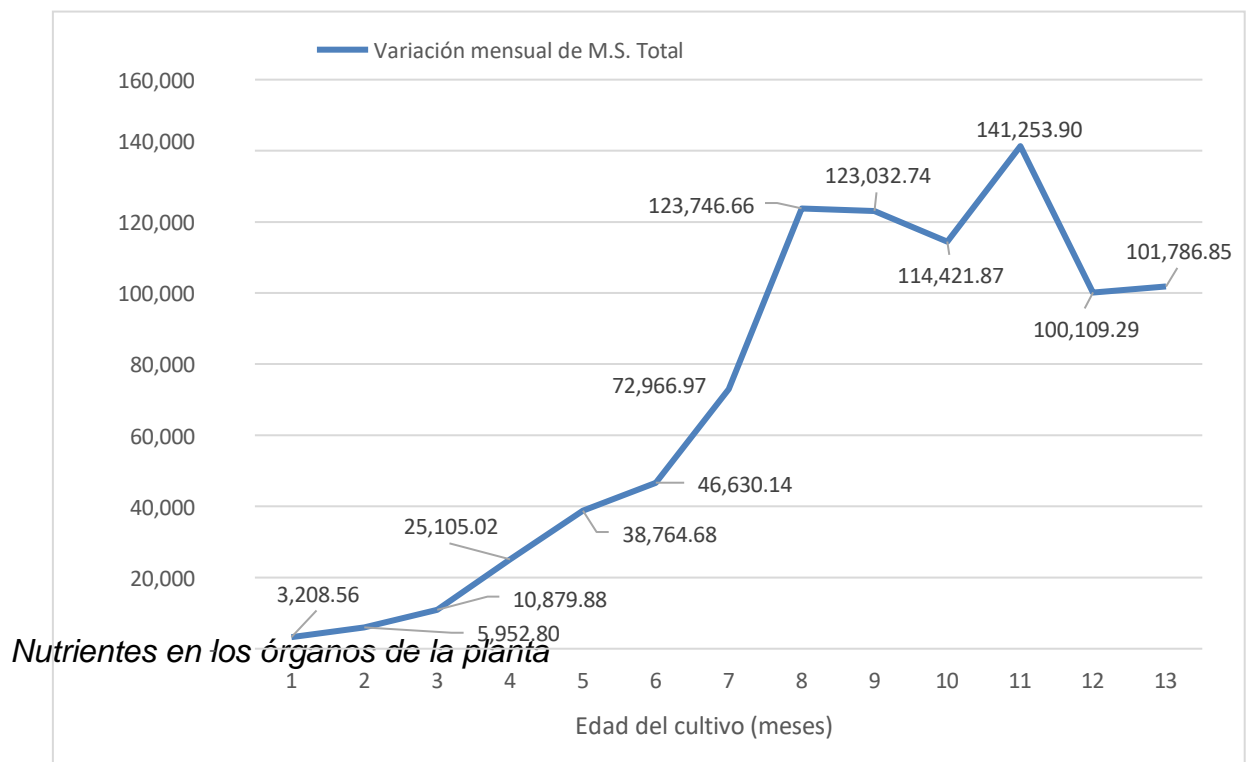
El tallo puede llegar a representar como promedio el 91.8% de la biomasa seca total de la planta (Valladares et al, 2015). En cuanto al follaje similares resultados

indican que a los 9 meses alcanza el máximo y luego empieza a disminuir porque las hojas están maduras (cultivo madura). No hay aparición de hojas, la fotosíntesis disminuye con la caída del contenido de nitrógeno. La biomasa del follaje depende en buena medida del número y persistencia de las hojas en la planta, que ha cierta edad declina de manera significativa (Valladares et al, 2015)

La Figura 3 muestra la curva de acumulación de materia seca total de la planta la misma que es ascendente desde mes uno hasta el mes ocho con 123,746.66 kg/ha de materia seca como un primer pico, el cual se caracteriza por el rápido crecimiento y rendimiento de la biomasa, del número de tallos por área y por la foliación frecuente y rápida hasta alcanzar un Índice de Área Foliar (IAF) de 6 a 7 (Barbieri, 1993); para luego mantenerse estable en los meses 9 y 10 y retomar su incremento en el mes 11 con 141,253.90 kg/ha constituyéndose este pico como la mayor acumulación total de materia seca en la planta, lo cual coincide con la fase de maduración y sazonado, deteniéndose el crecimiento y propiciándose la acumulación de carbohidratos y la conversión de azúcares reductores (glucosa y fructuosa) a sacarosa (Larrahondo & Villegas, 1995). Finalmente disminuye en los meses 12 y 13 a niveles de 101,786.85 kg/ha de materia seca total. El mayor incremento de acumulación de materia seca total se presentó entre los meses 7 y 8 con 50.79 t/ha, que difiere con los resultados encontrados por Izquierdo, (2021), Villazón et al, (2016a), Villazón et al, (2016b).

Figura 3

Curva de acumulación de materia seca total (kg/ha) en el cultivo de Caña de azúcar variedad RB 72-454



Se determinó la cantidad de nutrientes absorbidos por órgano de la planta (raíz, tallo, follaje y cepa) en toda la parcela y estos valores fueron llevados a la hectárea (kg/ha).

El experimento tuvo una duración de 13 meses y las evaluaciones mensuales, en los que se procedió a analizar cada órgano de la planta en relación a la extracción de los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe y B.

La información obtenida se presenta en sus respectivos cuadros y gráficos, siendo interpretados y discutidos con estos últimos.

Nutrientes en la raíz

En la Tabla 5 se indican los nutrientes de la raíz (kg/ha) en caña de azúcar (soca 7) durante los 13 meses del experimento. El análisis de varianza efectuado para cada nutriente presentó una respuesta estadística significativa al nivel 0.01 y las pruebas de Duncan 0.05 para los nutrientes estudiados resultaron con diferencias significativas para los trece meses.

Tabla 5

Concentración de nutrientes en la raíz de la planta caña de azúcar (soca 7) de los 13 meses expresado en kg/ha

Mes	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	Fe	B
1	0.721 g	0.234 i	0.827 f	2.166 f	0.347 f	0.005 d	0.004 f	0.013 d	0.737 fg	0.006 e
2	2.296 fg	0.406 hi	2.198 ef	4.599 ef	0.647 ef	0.008 d	0.013 ef	0.019 d	0.262 g	0.012 e
3	4.883 efg	0.540 hi	4.115 ef	5.607 ef	1.100 def	0.014 d	0.022 ef	0.042 cd	0.746 fg	0.018 de
4	6.561 def	0.881 gh	3.407 de	10.792 de	1.932 cde	0.031 c	0.034 ef	0.092 bc	3.665 cd	0.032 cd
5	9.277 cd	1.096 fgh	7.014 d	14.914 d	1.721 cdef	0.030 c	0.036 ef	0.051 cd	1.055 fg	0.037 cd
6	7.963 de	1.020 efgh	6.731 cd	17.705 cd	2.449 cd	0.040 c	0.046 def	0.078 bc	2.943 de	0.038 cd
7	12.410 c	1.464 defg	9.569 cd	18.778 cd	2.791 c	0.038 c	0.095 cd	0.091 bc	1.976 ef	0.040 cd
8	17.660 b	2.184 cd	11.217 b	31.959 b	5.067 ab	0.068 b	0.119 c	0.174 a	7.388 b	0.093 a
9	25.770 a	2.686 bc	18.886 b	30.406 b	5.831 a	0.078 b	0.333 a	0.208 a	8.778 a	0.112 a
10	27.780 a	3.552 a	18.086 a	41.323 a	5.944 a	0.103 a	0.192 b	0.210 a	7.842 ab	0.084 ab
11	20.100 b	2.744 ab	19.474 bc	24.401 bc	4.382 b	0.041 c	0.089 cd	0.172 a	4.900 c	0.107 a
12	8.519 cde	1.564 def	7.236 d	14.929 d	2.761 c	0.036 c	0.118 c	0.105 b	2.015 ef	0.056 bc
13	9.354 cd	1.925 cde	10.512 d	15.543 d	2.916 c	0.033 c	0.053 de	0.118 b	3.286 de	0.118 a

Nota: Las letras diferentes entre promedios indican significación estadística para la Prueba Duncan 0.05

Se encontró significación estadística para la absorción del nitrógeno, observándose que los meses 10 y 9, sin diferencias entre si superaron a los restantes tratamientos. En el caso de la absorción del fósforo, potasio, calcio, magnesio y zinc el mes 10 superó a los restantes tratamientos. La mayor absorción de cobre se produjo en el mes 9, cuyo valor superó significativamente al resto de tratamientos. El cobre presentó los mayores valores en los meses 8, 9, 10 y 11, sin diferencias entre ellos, pero que superaron a los restantes tratamientos. El hierro por su parte alcanzó la mayor absorción en el mes 9 y para el boro los meses 13, 9, 11 y 8 iguales estadísticamente, superaron a los restantes tratamientos.

Nutrientes en la cepa

En la Tabla 6 se indican los nutrientes en cepas de caña de azúcar (soca 7), en los 13 meses del experimento, de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe, B en kg/ha.

Tabla 6

Concentración de nutrientes en la cepa de la planta caña de azúcar (soca 7) de los 13 meses expresado en kg/ha

Mes	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	Fe	B
1	8.366 cd	4.291 abcd	16.773 cd	29.422 b	6.507 bc	0.105 bcde	0.097 ab	0.241 bcd	16.250 bc	0.074 bc
2	9.228 cd	1.786 ef	15.608 cd	7.420 de	2.294 d	0.040 gh	0.031 cde	0.068 ef	2.306 fg	0.018 gh
3	18.470 b	3.802 bcd	18.523 bcd	11.623 cde	4.535 cd	0.136 bc	0.066 abc	0.181 cde	11.900 cd	0.026 fgh
4	7.989 d	1.208 f	10.477 d	4.842 e	2.618 d	0.047 fgh	0.025 e	0.035 f	1.639 g	0.010 h
5	13.270 bcd	3.494 cde	20.265 bcd	13.347 cd	4.724 cd	0.119 bcd	0.060 abcd	0.124 def	9.264 cde	0.031 efg
6	9.488 cd	2.363 de	15.783 cd	7.901 de	3.572 cd	0.065 defgh	0.038 cde	0.140 def	5.451 defg	0.025 efg
7	11.050 bcd	3.260 cde	22.772 bc	24.476 b	6.592 bc	0.086 cdefg	0.063 abcd	0.245 bcd	16.690 bc	0.046 def
8	28.990 a	6.637 a	41.668 a	58.067 a	17.300 a	0.276 a	0.104 a	0.605 a	48.040 a	0.133 a
9	28.320 a	6.043 ab	36.974 a	26.433 b	9.832 b	0.162 b	0.088 ab	0.402 abc	26.450 b	0.108 ab
10	16.410 bc	3.974 bcde	16.817 cd	13.695 cd	4.697 cd	0.057 efgh	0.039 cde	0.478 ab	8.863 cde	0.047 de
11	14.790 bcd	5.059 abc	30.082 ab	9.292 de	3.746 cd	0.062 defgh	0.032 de	0.089 def	3.218 efg	0.103 ab
12	11.900 bcd	3.535 cde	13.862 cd	20.174 bc	4.695 cd	0.088 cdef	0.055 bcde	0.316 bcd	17.550 bc	0.055 cd
13	10.780 bcd	4.102 abcd	16.054 cd	10.040 de	3.194 d	0.031 h	0.025 e	0.204 cde	6.968 def	0.106 ab

NOTA: Las letras diferentes entre promedios indican significación estadística para la Prueba Duncan 0.05

En la cepa de la planta se encontró significación estadística en todos los nutrientes tanto en el análisis de varianza al nivel 0.01 como en las pruebas de Duncan 0.05. En el caso de la absorción del nitrógeno los meses 8 y 9 alcanzaron los mayores valores y sin diferencias entre sí superaron estadísticamente a los demás tratamientos (meses), mientras que para los nutrientes fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, manganeso, hierro y boro los mayores valores de absorción se obtuvieron en el mes 8 del cultivo y superan significativamente al resto de tratamientos.

Nutrientes en el tallo

En la Tabla 7 se encuentran los nutrientes N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe y B, expresados en kg/ha durante los 13 meses del experimento en el tallo de la planta de caña de azúcar (soca 7). Los análisis de varianza fueron significativos al nivel 0.01.

Tabla 7

Concentración de nutrientes en el tallo de la planta caña de azúcar (soca 7) de los 13 meses expresado en kg/ha

Mes	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	Fe	B
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	7.458 g	1.047 e	10.66 e	1.443 f	1.808 f	0.043 c	0.010 g	0.010 f	0.141 f	0.002 e
4	25.400 g	8.854 e	114.53 d	8.606 ef	9.132 ef	0.145 c	0.044 fg	0.033 f	0.139 f	0.014 de
5	61.270 ef	33.360 bc	200.42 cd	107.770 a	27.600 d	0.517 ab	0.168 b	0.472 a	1.054 de	0.977 c
6	62.530 ef	20.210 d	434.51 ab	17.517 e	13.800 e	0.134 c	0.053 efg	0.036 f	0.8 e41	0.036 de
7	42.240 fg	9.690 e	329.16 bc	15.183 e	15.000 e	0.165 c	0.061 efg	0.058 f	0.853 e	0.035 de
8	154.400 ab	41.310 ab	664.78 a	47.123 cd	43.170 bc	0.660 a	0.256 a	0.181 e	2.733 b	0.107 d
9	177.700 a	25.740 cd	496.92 ab	41.320 d	39.440 c	0.449 b	0.159 bc	0.145 e	1.572 cd	0.142 de
10	118.400 cd	23.130 cd	426.45 ab	55.474 c	41.450 bc	0.566 ab	0.123 bcd	0.297 cd	1. 897 bc	0.137 d
11	176.700 a	44.440 a	542.57 ab	82.450 b	56.860 a	0.599 ab	0.106 cde	0.391 b	4.831 a	1.562 b
12	90.210 de	27.940 cd	463.00 ab	36.065 d	49.900 ab	0.189 c	0.055 efg	0.219 de	1.654 cd	0.060 de
13	127.700 bc	40.090 ab	521.18 ab	36.411 d	34.380 cd	0.431 b	0.088 def	0.313 bc	2.075 bc	5.748 a

NOTA: Las letras diferentes entre promedios indican significación estadística para la Prueba Duncan 0.05

En lo que se refiere a la prueba de Duncan 0.05 para la absorción de los diferentes nutrientes examinados en el tallo, la mayor concentración de nitrógeno se alcanzó durante los meses 9 y 11 del cultivo que semejantes estadísticamente entre ambos superaron a los demás tratamientos (meses). El mayor valor de absorción de fósforo se alcanzó en el mes 11, el mismo que es superior estadísticamente a los otros tratamientos estudiados. El potasio mostró un comportamiento diferente al N y P, pues el mejor valor se logró durante el mes 8 que superó a los restantes tratamientos; en el calcio, por otro lado, el mes 5 obtuvo la mayor concentración que fue superior estadísticamente a los demás tratamientos. El magnesio alcanzó como mayor valor de absorción el mes 11, siendo mejor significativamente que los restantes tratamientos. Con respecto a la absorción de los micro elementos en el tallo, el zinc y el cobre tuvieron un comportamiento similar, ambos alcanzaron el mayor contenido de absorción en el mes 8, el cual es superior estadísticamente al resto de tratamientos.

Para el manganeso, el mayor valor de absorción lo alcanzó al mes 5, superior a los otros tratamientos, el hierro se absorbió en mayor concentración en el mes 11 muy superior estadísticamente a los otros tratamientos, y el boro fue mejor absorbido por el tallo en el mes 13 estadísticamente superior a los restantes tratamientos.

Nutrientes en la hoja

En la Tabla 8 se indican los nutrientes en hoja para N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe y B expresados en kg/ha y durante los 13 meses del experimento.

Tabla 8

Concentración de nutrientes en la hoja de la planta caña de azúcar (soca 7) de los 13 meses expresado en kg/ha

Mes	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn	Fe	B
1	8.13 h	1.89 f	13.71 g	3.397 g	1.31 f	0.021 c	0.004 h	0.019 f	0.072 f	0.005 f
2	34.28 gh	8.08 ef	41.34 g	17.229 fg	4.23 f	0.056 c	0.019 gh	0.138 f	0.450 ef	0.029 ef
3	80.64 fg	12.99 def	118.83 f	29.997 fg	10.45 ef	0.090 c	0.041 fgh	0.208 f	0.949 def	0.042 ef
4	123.50 ef	22.32 cd	268.39 e	62.491 ef	18.92 de	0.203 c	0.063 def	0.574 e	1.448 cde	0.107 def
5	235.10 ab	23.28 cd	148.38 f	126.860 cd	35.98 b	0.215 c	0.081 bcdef	0.885 c	2.200 bcd	0.172 cd
6	184.90 bcd	18.24 cde	291.52 cde	98.491 de	31.05 bcd	0.267 c	0.086 abcde	0.525 e	1.863 cd	0.136 de
7	198.10 bc	37.95 ab	572.33 a	144.060 cd	43.34 ab	0.383 ab	0.125 a	0.616 de	3.261 b	0.221 bcd
8	221.00 bc	42.51 a	270.95 e	164.270 bc	54.25 a	0.625 a	0.117 ab	0.905 c	5.296 a	0.298 b
9	284.50 a	48.80 a	363.18 cd	299.380 a	52.73 a	0.743 a	0.124 ab	1.226 ab	5.671 a	0.675 a
10	224.50 bc	27.96 bc	451.21 b	207.170 b	37.03 b	0.593 a	0.096 abcd	1.144 b	2.197 bcd	0.323 b
11	172.00 cde	28.56 bc	369.04 c	170.880 bc	33.76 bc	0.604 a	0.108 abc	0.829 cd	3.392 b	0.332 b
12	113.70 ef	22.16 cd	282.81 de	117.510 cd	34.20 bc	0.420 a	0.070 cdef	1.402 a	2.341 bcd	0.271 bc
13	131.00 def	18.96 cde	254.30 e	170.260 bc	21.93 cde	0.358 bc	0.048 efg	0.625 de	2.671 bc	0.632 a

Nota: Las letras diferentes entre promedios indican significación estadística para la Prueba Duncan 0.05

Con respecto a la absorción de los diferentes nutrientes examinados en el follaje, los análisis de varianza efectuados a cada uno de ellos resultaron estadísticamente significativos al nivel 0.01, y las pruebas de Duncan 0.05 confirmaron la significación para la comparación de los promedios. El nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio tuvieron una mayor absorción en el follaje a los 9 meses del cultivo superando a los demás tratamientos (meses); en cambio, el potasio alcanzó la mayor absorción al mes 7 que fue estadísticamente superior al resto de tratamientos. En

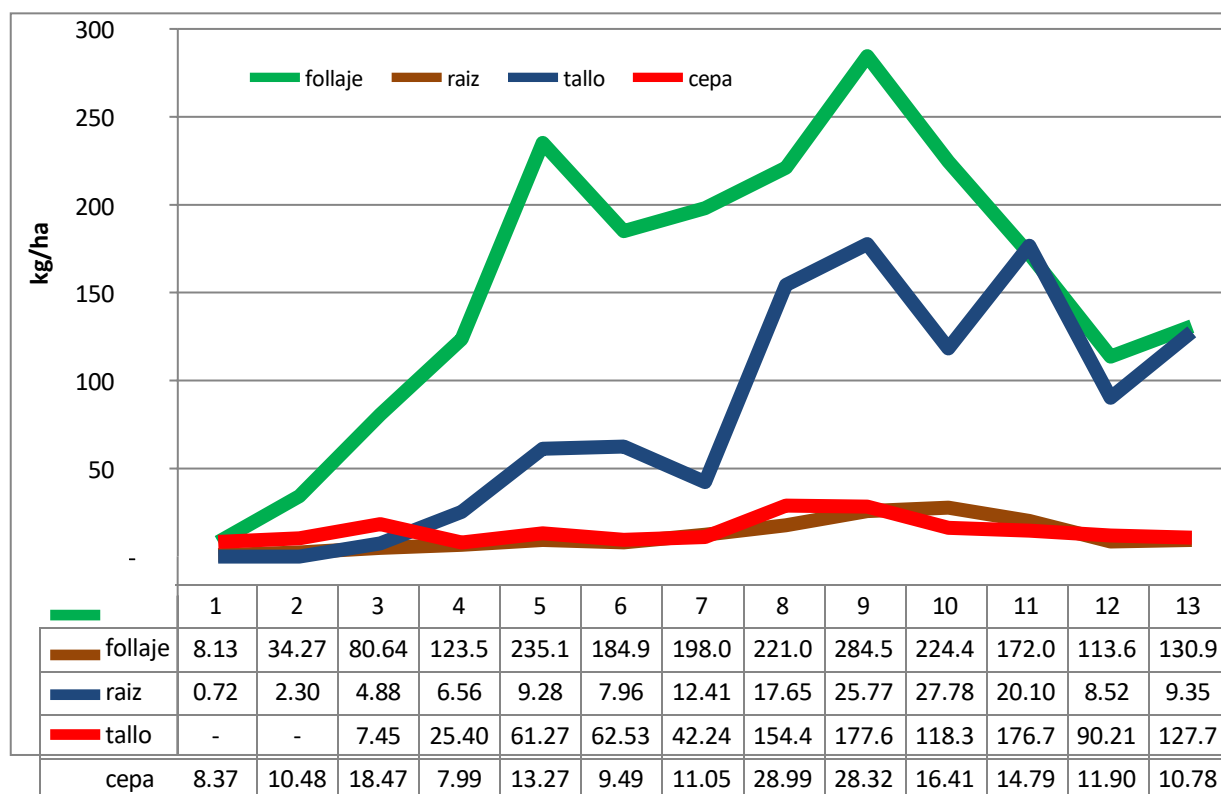
relación a los micro nutrientes, para el caso del zinc los mejores valores se alcanzaron desde el mes 8 hasta el 12, estadísticamente semejantes entre ellos y que superaron a los otros tratamientos. El cobre fue mejor al mes 7 superior al resto de tratamientos; mientras que el manganeso logró el mayor contenido en el follaje al mes 12 significativo a los demás tratamientos. El hierro se absorbió mejor en los meses 8 y 9 que superaron estadísticamente al resto de tratamientos; en cambio el boro logró los mayores valores de absorción en los meses 9 y 13 estadísticamente similares y que superaron significativamente a los demás tratamientos.

Nitrógeno (N)

La mayor absorción del nitrógeno se encontró muy significativa, principalmente en el follaje seguida por la absorción en el tallo (Figura 4)

Figura 4

Comportamiento del nitrógeno en los diferentes órganos de la planta Caña de azúcar variedad RB 72-454



El nitrógeno en el follaje y tallo va en ascenso, mientras que en la raíz y cepa su variación es mínima y es mucho menor al contenido del follaje. La mayor absorción

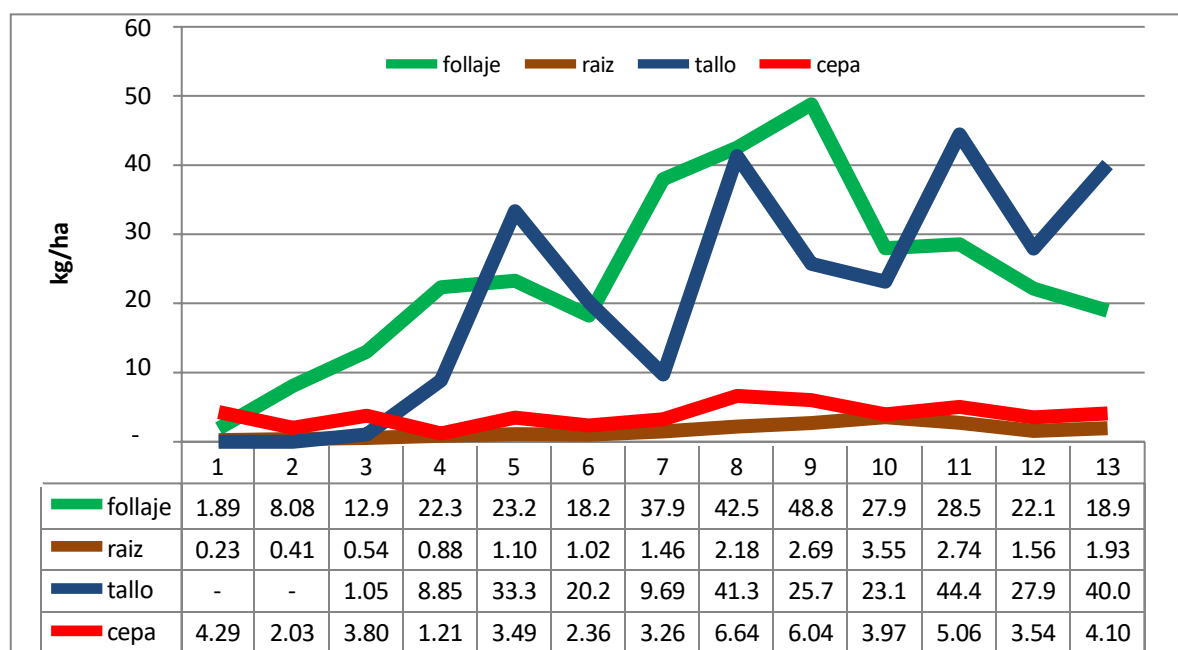
de nitrógeno ocurrió en el mes 9 con 284.5 kg/ha y el mayor incremento de absorción de nitrógeno en el follaje ocurrió entre los meses 4 y 5 con 111.6 kg/ha, mientras que en el tallo esto se dio entre los meses 7 y 8 con 112.16 kg/ha. Los resultados del experimento en el follaje mostraron que al mes 5 se obtuvo una absorción de nitrógeno de 235.1 kg/ha y concuerdan con los obtenidos por Mite (2005) que logró 236.0 kg/ha, pero al tercer mes del cultivo, lo cual demuestra que la absorción del nitrógeno es más activa entre los 3 y 6 meses de edad del cultivo (Humbert, 1974 mencionado por Holguín Del Río, 2017). Romero et al, (2018) reportó resultados menores con 100.4 kg/ha, y Mayorga y Loáisiga (2015) mencionan valores superiores de 274 y 281 kg/ha, para 2 variedades estudiadas. Las variaciones en la absorción del nitrógeno se deben probablemente a factores climáticos, tipos de suelos, manejo del cultivo y sobre todo a los diferentes genotipos.

Fósforo (P)

El contenido de fósforo en el follaje y tallo es ascendente siendo muy superior al contenido en la raíz y cepa (Figura 5). La mayor absorción de fósforo en el follaje se obtuvo al mes 9 con un valor de 48.8 kg/ha para posteriormente ir descendiendo.

Figura 5

Comportamiento del fósforo en los diferentes órganos de la planta Caña de azúcar variedad RB 72-454



El mayor incremento de la absorción de fósforo en el follaje se presentó entre los meses 6 y 7 con 19.7 kg/ha. Para el caso del fósforo en el tallo, la mayor absorción ocurrió en dos momentos en los meses 8 y 11 con 41.3 y 44.4 kg/ha respectivamente lo cual es importante porque el fósforo está presente en el jugo y una mayor cantidad de este elemento hace más fácil la clarificación (Pérez et al, 2015), y el mayor incremento de absorción se produjo entre los meses 7 y 8 con 31.61 kg/ha. Similares respuestas reportan otros investigadores (Mite, 2005; Mayorga y Loáisiga, 2015; González et al, 2018); y los resultados son superiores a los obtenidos por Villazón et al, (2016a) y Villazón et al, (2016b). El fósforo es absorbido principalmente durante los primeros 6 a 8 meses de vida de la planta, en más del 50% (Humbert, 1974 citado por Holguín Del Río, 2017).

Potasio (K)

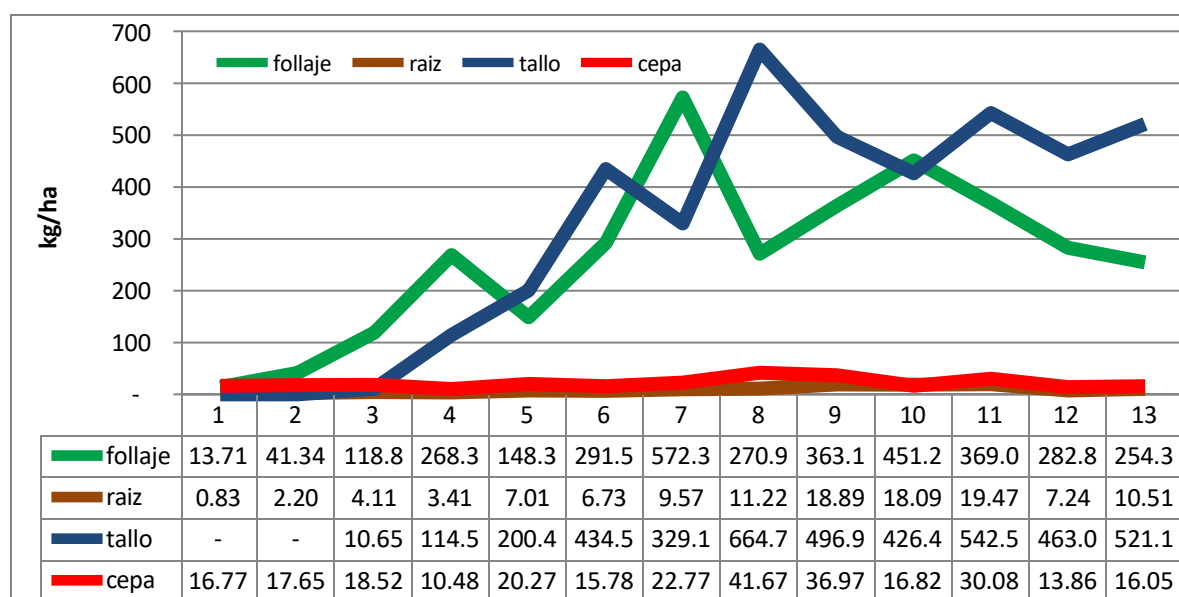
El contenido de potasio en el follaje y tallo fue más ascendente y en mayor cantidad que el nitrógeno y fósforo, mientras que las cantidades en la raíz y cepa fueron mínimas (Figura 6).

El potasio (K) es el nutriente que más se absorbe en la caña de azúcar, posiblemente debido a las aplicaciones de este elemento, principalmente de la Vinaza que es muy beneficiosa por el contenido de K porque aumenta su disponibilidad en el suelo, siendo una alternativa a la fertilización mineral (Otoya et al, 2023). En el mes 8 se alcanzó la mayor absorción en el tallo con un valor de 664.7 kg/ha y el mayor incremento se produjo entre los meses 7 y 8, siendo su valor de 335.6 kg/ha. Para el follaje, la mayor absorción de K, fue en el mes 7 con 572.3 kg/ha y el mayor incremento de este nutriente sucedió entre los meses 6 y 7 con un valor de 280.8 kg/ha. Estas respuestas son similares a las obtenidas en otras investigaciones (Mite, 2005; Mayorga y Loáisiga, 2015), y son superiores a las reportadas por Villazón et al, (2016a); González et al, (2018); Romero et al, (2018). Las aplicaciones de K son realizadas generalmente con la aplicación de N, y también una aplicación de K alrededor de los 6 meses del cultivo produce una mejora en la recuperación de azúcar (Ochoa et al, 2010). Este mismo autor señala la absorción del nutriente K para un rendimiento de 124 toneladas por hectárea, de 370 kg/ha, inferior al obtenido en el experimento, como se ha indicado anteriormente, para un

rendimiento de soca 7 de 177.7 toneladas por hectárea.

Figura 6

Comportamiento del potasio en los diferentes órganos de la planta de Caña de azúcar variedad RB 72-454



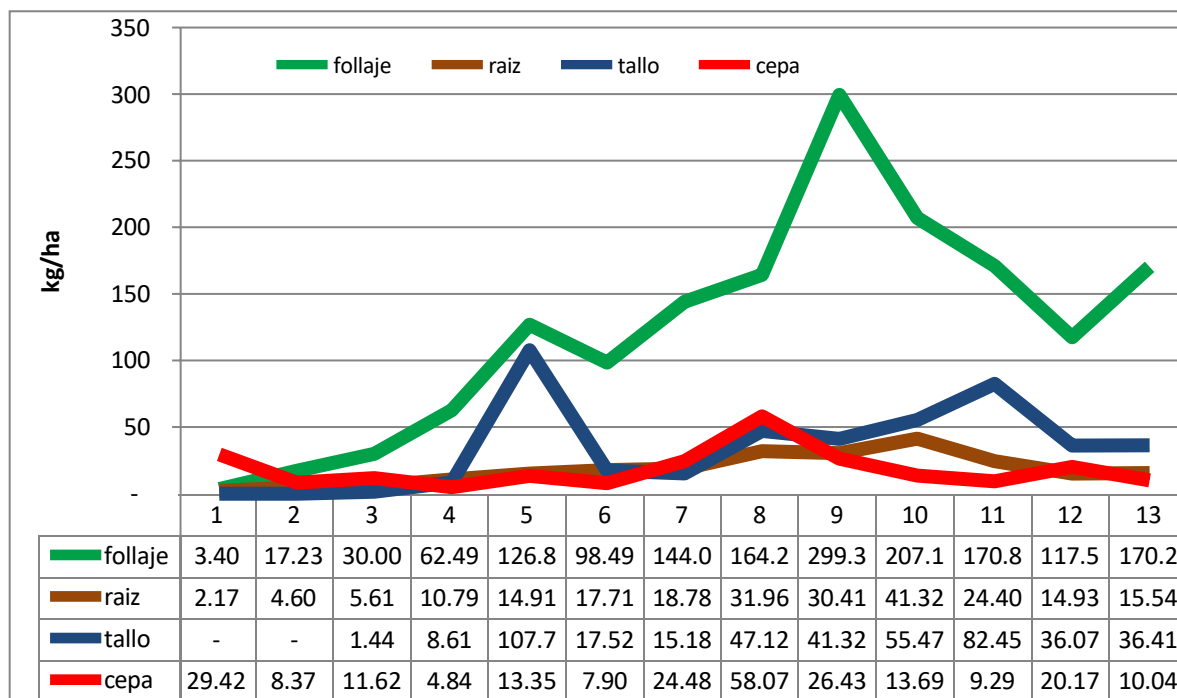
Calcio (Ca)

El contenido de calcio en el follaje fue mayor a los contenidos en la raíz, tallo y cepa (Figura 7).

La absorción del calcio (Ca) en el follaje se presentó de manera ascendente hasta el mes 9 con un valor de 299.3 kg/ha y luego comenzó a disminuir, y su mayor incremento de absorción se produjo entre los meses 8 y 9 con 135.1 kg/ha, resultados muy superiores a los reportados por González et al, (2018), Romero et al, (2018), Mite (2005), Mayorga y Loáisiga (2015) probablemente debido a la incorporación de Vinaza y al tipo de suelo que contenía un nivel adecuado de Ca disponible.

Figura 7

Comportamiento del calcio en los diferentes órganos de la planta de Caña de azúcar variedad RB 72-454

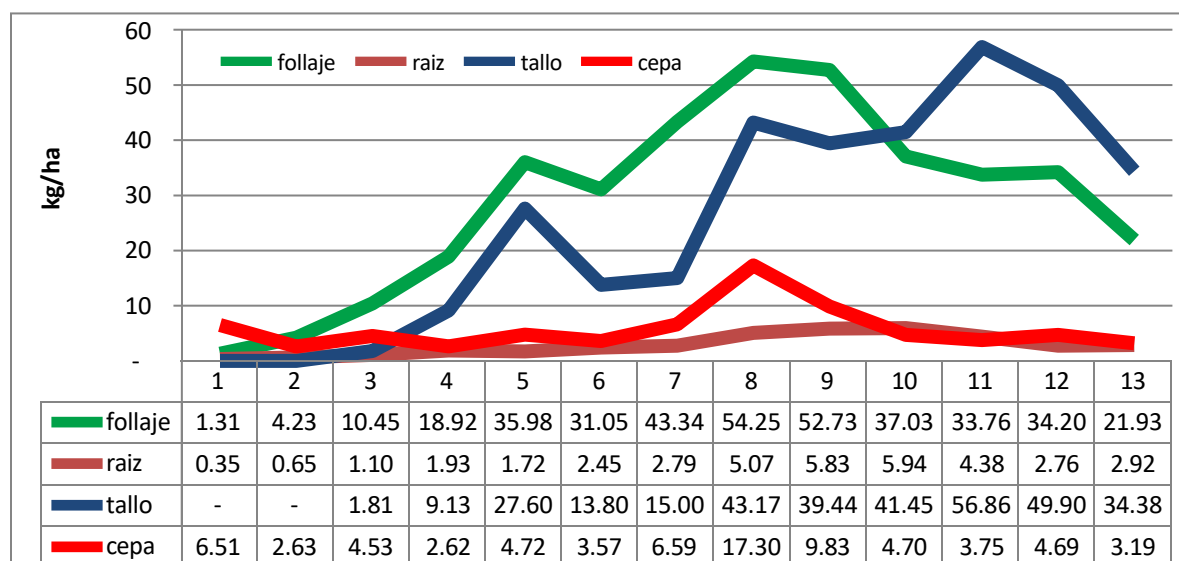


Magnesio (Mg)

Los niveles de magnesio en el follaje y tallo tuvieron un comportamiento de tipo ascendente (Figura 8). En el follaje se encontró que la mayor absorción de este nutriente corresponde al mes 8 con un valor de 54.25 kg/ha, y su mayor incremento se presentó entre los meses 4 y 5 con 17.06 kg/ha. En el tallo, la mayor absorción se alcanzó en el mes 11 con 56.86 kg/ha y el mayor incremento se encontró entre los meses 7 y 8 con 28.17 kg/ha. Los resultados encontrados en el experimento son superiores a los reportados por otros investigadores que con otras variedades (genotipo) y condiciones diferentes de suelo y clima no sobrepasaron los 40 kg/ha de Mg absorbido (González et al, 2018; Mite, 2005; Mayorga y Loáisiga, 2015).

Figura 8

Comportamiento del magnesio en los diferentes órganos de la planta de Caña de azúcar variedad RB 72-454



Los niveles de magnesio en el follaje y tallo tuvieron un comportamiento de tipo ascendente (Figura 8). En el follaje se encontró que la mayor absorción de este nutriente corresponde al mes 8 con un valor de 54.25 kg/ha, y su mayor incremento se presentó entre los meses 4 y 5 con 17.06 kg/ha. En el tallo, la mayor absorción se alcanzó en el mes 11 con 56.86 kg/ha y el mayor incremento se encontró entre los meses 7 y 8 con 28.17 kg/ha. Los resultados encontrados en el experimento son superiores a los reportados por otros investigadores que con otras variedades (genotipo) y condiciones diferentes de suelo y clima no sobrepasaron los 40 kg/ha de Mg absorbido (González et al, 2018; Mite, 2005; Mayorga y Loáisiga, 2015).

Acumulación de Macronutrientes y Micronutrientes

De la absorción de los nutrientes por cada órgano de la planta (follaje, tallo, raíz y cepa), se obtuvo el acumulado total de macro elementos (Figura 8) y micro elementos (Figura 9) en la distribución mensual del cultivo (soca 7). Los análisis de varianza resultaron significativos al nivel 0.01 tanto para macro como micro nutrientes. La prueba de Duncan al nivel 0.05 (Tabla 8) mostró significación estadística para macro nutrientes, y es el potasio que supera significativamente a los otros nutrientes seguido por el nitrógeno que superó al calcio, magnesio y fósforo. En los micro nutrientes es el hierro el que supera estadísticamente a los demás micro nutrientes.

Tabla 8

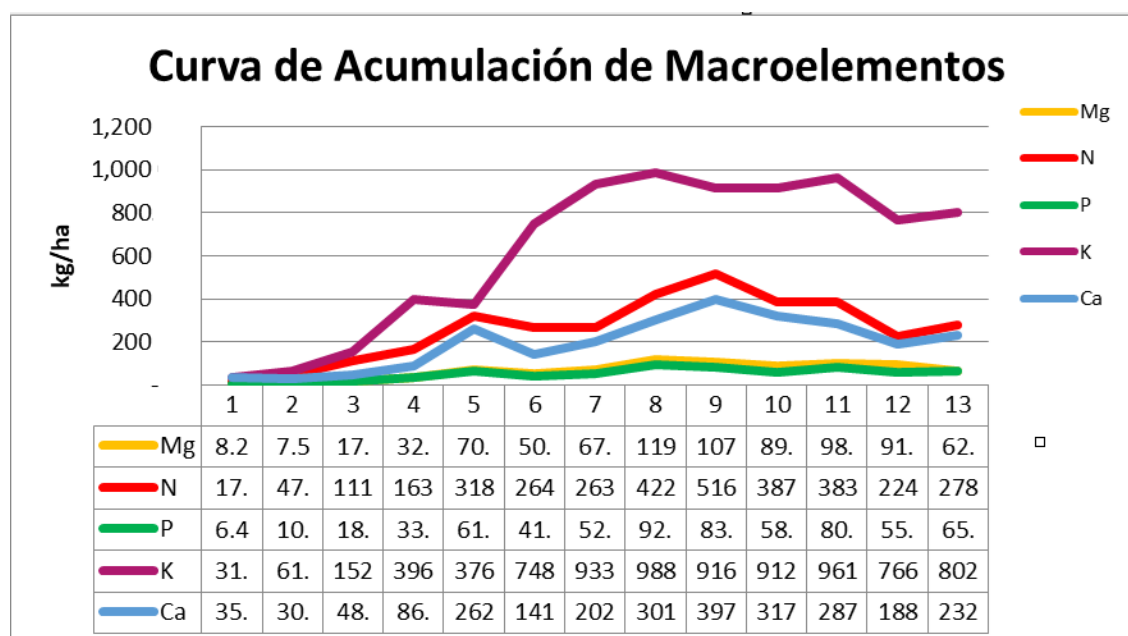
Acumulación de macro nutrientes y micro nutrientes totales en la planta de caña de azúcar (soca 7) en los 13 meses expresado en kg/ha

NUTRIENTES	kg/ha	DUNCAN 0.05	NUTRIENTES	kg/ha	DUNCAN 0.05
Potasio (K)	8,047.50	a	Fierro (Fe)	269.90	a
Nitrógeno (N)	3,398.75	b	Manganeso (Mn)	15.70	b
Calcio (Ca)	2,531.25	c	Boro (B)	13.50	b
Magnesio (Mg)	824.38	d	Zinc (Zn)	10.20	b
Fósforo (P)	660.00	d	Cobre (Cu)	3.85	c

Nota: Las letras diferentes indican que hay significación estadística en la Prueba de Duncan 0.05

Figura 9

Curva de acumulación de macro elementos en los tejidos estudiados de la planta de Caña de azúcar variedad RB 72-454 expresado en kg/ha

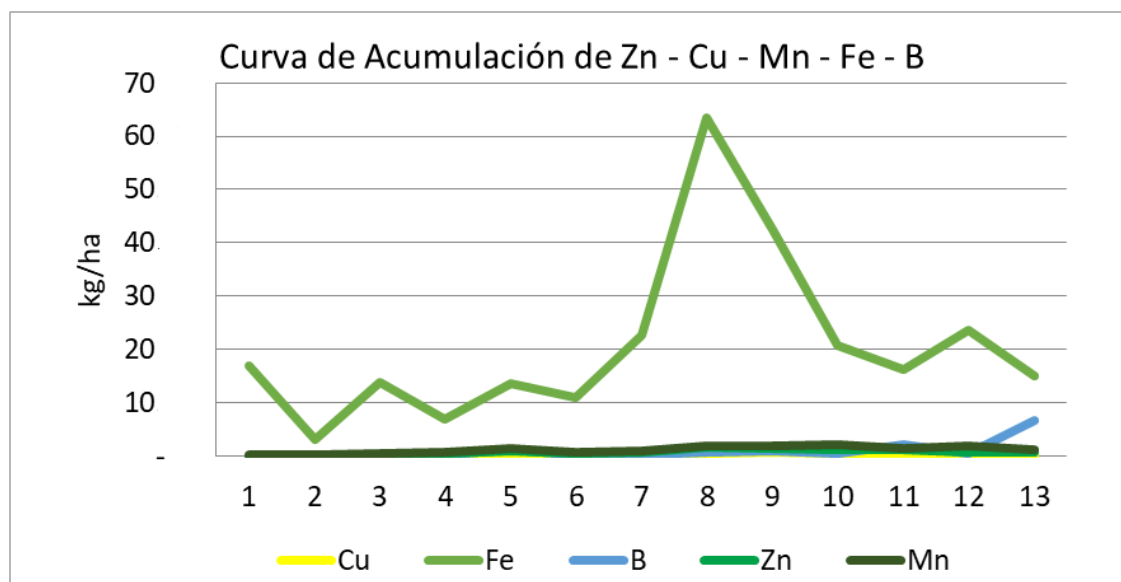


En los macro elementos, el potasio fue el que más se acumuló, teniendo como respuesta una curva sigmoideal, y un acumulado total en los 13 meses del cultivo de 8.047 t/ha. Siguieron en igual comportamiento, pero en menor cantidad, los elementos nitrógeno y calcio, con un acumulado total de 3.398 y 2.531 t/ha respectivamente. El patrón de absorción de los nutrientes fue: K>N>Ca>Mg>P para una productividad en soca 7 de 177.7 t/ha. Similares respuestas lograron Romero et al, (2018), Mayorga y Loáisiga (2015), Ochoa et al, (2010), y con algunas diferencias Coale et al, (1993). Por otro lado, González et al, (2018) reportó un patrón de absorción siguiente:

N>K>Ca>P>Mg.

Figura 10

Curva de acumulación de micro elementos en los tejidos estudiados de la planta de Caña de azúcar variedad RB 72-454 expresado en kg/ha



Con respecto a los micro elementos, el hierro fue el que más se absorbió con un total de 269.9 kg/ha, acumulándose en mayor cantidad en la cepa y raíz principalmente similar a lo reportado por Santos et al, (2016) que menciona la acumulación en hojas y raíz. La mayor absorción del hierro (Fe) en todos los órganos vegetativos (follaje, tallo, raíz y cepa) se presentó al mes 8 del cultivo con un valor de 63.5 kg/ha. El patrón de absorción total de los micro elementos fue: Fe>Mn>B>Zn>Cu, muy similar a las respuestas obtenidas con otras variedades (Mite, 2005).

Tabla 9

Acumulación de micro elementos en los tejidos estudiados en la planta de caña de azúcar variedad RB 72-454 expresado en kg/ha

Meses	Cu	Fe	B	Zn	Mn
1	0.1	17.1	0.1	0.1	0.3
2	0.1	3.0	0.1	0.1	0.2
3	0.1	13.7	0.1	0.3	0.4
4	0.2	6.9	0.2	0.4	0.7
5	0.3	13.6	1.2	0.9	1.5
6	0.2	11.1	0.2	0.5	0.8

7	0.3	22.8	0.3	0.7	1.0
8	0.6	63.5	0.6	1.6	1.9
9	0.7	42.5	1.0	1.4	2.0
10	0.4	20.8	0.6	1.3	2.1
11	0.3	16.3	2.1	1.3	1.5
12	0.3	23.6	0.4	0.7	2.0
13	0.2	15.0	6.6	0.9	1.3
TOTAL	3.8	269.9	13.5	10.2	15.7

La Tabla 9 presenta el comportamiento de absorción de los micro elementos mensualmente hasta el mes 13, y allí podemos notar que en el caso del hierro, manganeso y zinc los niveles alcanzados son adecuados y esto es debido al manejo del cultivo, principalmente, el programa de fertilización de la empresa y que han utilizado abonos orgánicos como la vinaza, vivianita y chira que contienen estos elementos, además de aplicar con fertiriego el manganeso y zinc a partir del segundo mes del brotamiento. Por otro lado, la calidad del suelo indica que estos micro elementos se encuentran en cantidades suficientes producto de las aplicaciones en los años anteriores, como se observa en la Tabla 2, lo que ha influido en las concentraciones encontradas en los órganos de la planta. El cobre se absorbió en mayor cantidad en el mes 9 con 0.7 kg/ha, el boro en el mes 13 con 6.6 kg/ha, el zinc en el mes 8 con 1.6 kg/ha y el manganeso en el mes 10 con 2.1 kg/ha.

Los resultados obtenidos según las curvas de absorción de los nutrientes analizados permiten recomendar a agricultores que cultivan caña de azúcar que el modelo de manejo o conducción del cultivo es una buena alternativa a ser tomada en cuenta para alcanzar rendimientos de más de 170 t/ha, superiores al nivel nacional, pero siempre que las condiciones del clima, suelo, manejo del cultivo sean las adecuadas y similares a las del experimento. La buena fertilización, sistema de riego, la prevención y el control fitosanitario han sido muy importantes en el desarrollo del cultivo y las curvas de absorción de nutrientes así lo demuestran.

Conclusiones

La mayor absorción total para el nitrógeno, calcio y cobre se produjo al mes 9; en cambio para el fósforo, potasio, magnesio, zinc y hierro fue el mes 8. Por otro lado, para el manganeso fue el mes 10 y para el caso del boro este ocurrió en el mes 13.

El patrón de absorción de los nutrientes analizados fue:

K>N>Ca>Mg>P>Fe>Mn>B>Zn>Cu y la extracción de los nutrientes en tonelada por hectárea de producto cosechado para un rendimiento de 177.7 t/ha fue de la siguiente forma: N (2.80), P₂O₅ (1.10), K₂O (6.50), CaO (2.90), MgO (1.1), Zn (0.009), Cu (0.004), Mn (0.011), Fe (0.300) y B (0.040).

El potasio fue el macro elemento que más se acumuló en los órganos de la planta, mientras que el hierro fue el que más se absorbió para el caso de los micro elementos.

El mayor contenido de materia seca se encontró en los tallos con 64.81% seguido por el follaje con 25.29 %.

Agradecimientos

A la Empresa Caña Brava por haber proporcionado el área de cultivo para el experimento y apoyar durante todo el trabajo en la financiación de la investigación y con sus profesionales para el desarrollo de la investigación.

Contribución de autoría

Josué Carlos Nieves Mejía, desarrollo de la investigación en el campo y estadística; Carlos Enrique San Martín Zapata, Asesor de la investigación; Javier Alexander Armas Reaño, asesoramiento, apoyo y supervisión del desarrollo de la investigación en el campo; Luis Conrado Guzmán Farfán, revisión, análisis, discusión y redacción final del artículo; Arturo Adolfo Arbulú Zuazo, revisión y redacción del artículo; Néstor Ramón Mogollón Purizaga, revisión y redacción del artículo.

Conflicto de interés

No existe conflicto de interés

Referencias bibliográficas

AGRARIA (2020a). Después de 50 años, el cultivo de la caña de azúcar afianza la seguridad alimentaria de nuestro país. Publicado el 25-09-2020. <https://agraria.pe/noticias/despues-de-50-anos-el-cultivo-de-la-cana-de-azucar-afianza-l-22564>

- AGRARIA (2020b). Piura: ingenios azucareros son claves en la reactivación económica. Publicado el 27-11-2020. <https://agraria.pe/noticias/piura-ingenios-azucareros-son-claves-en-la-reactivación-econ-23079>
- ANDINA (2010). Productividad de caña de azúcar en el Norte del Perú es hasta 70% mayor que la de otros países. Agencia Peruana de Noticias. Publicado Lima el 13 de septiembre de 2010. <https://andina.pe/agencia/noticia-productividad-cana-azucar-el-norte-peru-es-hasta-70-mayor-que-de-otros-paises-316878.aspx>
- Barbieri, V. (1993). Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*); um modelo matemático-fisiológico de estimativa. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 142 p. <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-20191220-105447/publico/BarbieriValter.pdf>
- Bertsch F. (2003). Absorción de nutrimentos por los cultivos. ACCS. San José, Costa Rica. 307 p. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/114A67E236E96153852579A300742102/\\$FILE/Inf%20Agro%2057.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/114A67E236E96153852579A300742102/$FILE/Inf%20Agro%2057.pdf)
- CENICANÑA (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia). (2000). Informe anual 1999. Cali, Colombia. 63-64 https://www.cenicana.org/pdf_privado/informe_anual/ia_1999/ia_1999.pdf
- Coale, F. J.; Sánchez, C. A.; Izuno, F. T.; Bottcher, A. B. (1993). Nutrient accumulation and removal by sugarcane grown on Everglades Histosols. *Agronomy Journal*/Volume 85, Issue 2/p. 310-315 https://www.nutricaodeplantas.agr.br/site/culturas/cana/cana_macro_coale.pdf
- González Ch., F.; Cabezas G., M.; Ramírez G., M.; Ramírez D., J. (2018). Curvas de absorción de macronutrientes en tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) para panela en La Hoya del Río Suárez. *Rev. U.D.C.A.A. Act. & Div..Cient.* 21(2): 395-404. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.995>
- Holguín del Río J. L. (2017). Tecnología y Manejo del Cultivo de Caña de Azúcar en el

- Perú. Editorial: universidad Privada Antenor Orrego. p. 172, 174, 176, 177.
<http://isbn.bnpgob.pe/catalogo.php?mode=detalle&nt=91677>
- INPOFOS (2004). Absorción de nutrientes por los cultivos. Informaciones Agronómicas No. 52. p. 12. Instituto de la Potasa y el Fósforo. Enero 2004.
<file:///C:/Users/USUARIO/Documents/Inf.Agro-52.pdf>
- Izquierdo H., J. (2021). Análisis de crecimiento de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en el Ingenio Santa Rosalía de La Chontalpa, Tabasco. Tesis Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Campus Tabasco. H. Cárdenas, Tabasco, México.
http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/4788/Izquierdo_Hernandez_J_DC_Ciencia_Agricolas_Tropico_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Larrahondo, J. E. & Villegas, F. (1995). Control y características de maduración. En: El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. CENICAÑA. Colombia. p. 297-313.
https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_el_cultivo_cana/libro_p297-313.pdf
- Mayorga V., D. M. y Loáisiga V., E. M. A. (2015). Desarrollo de curvas de absorción de nutrientes en el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), variedades CP722086 MEX 69290. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 34 p.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/34d5ca77-a439-46c7-bde2-0fd8544a0cb2/content>
- Mite C., J. R. (2005). Curva de absorción de nutrientes del cultivo de caña de azúcar en el Valle de Cortarramas, Compañía Azucarera Tres Valles, Francisco Morazán, Honduras. Proyecto especial para el programa de Ingeniería en Ciencia y Producción Agropecuaria, Zamorano, Honduras. 51 p.
<https://bdigital.zamorano.edu/items/46636bd5-1a31-4dab-81ea-537883f2e462>
- Ochoa N., M. G.; Reyes G., M.; Manrique N., J. A. (2010). Producción sostenible de Caña de Azúcar en México. FIRA. Boletín Informativo. Nueva Época. Núm. 11.
<https://www.studocu.com/es-mx/document/centro-universitario-de-ciencias->

- biologicas-y-agropecuarias/introduccion-a-la-botanica/011-produccion-sostenible-de-cana-de-azucar-en-mexico/70669940
- Otoya Z., A. M.; Haro A., E. F.; Gutiérrez E., L. I.; Solís M., H. (2023). Vinaza. Evaluación de su impacto en un campo de cultivo. Quito. Ecuador. Religación Press. Centro de Investigaciones en Ciencias Sociales y Humanidades desde América Latina (CICSHAL). 86 p. DOI: <https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.69>
- Peña P., M. R. (1997). Propagación In vitro de la caña de azúcar. Tesis Ing. Agr. Honduras, Zamorano. 39 p. <https://revistas.zamorano.edu/index.php/CEIBA/article/view/168/162>
- Pérez, H.; Santana, I.; Rodríguez, I. (2015). Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar (Tomo II). En Universidad Técnica de Machala, Ecuador. Pag.188. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6649>
- Rengel, M.; Gil, F. y Montaña, J. (2011). Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar: micronutrientes. Barquisimeto. Bioagro (on line). Vol.23, n.2, p. 135-140 http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1316-33612011000200009&script=sci_abstract
- Romero, J. I.; Sanzano, A.; Romero, E. R.; Madrid, F.; Navarro Di Marco, Y.; Miranda, R.; Rojas Q., H.; Juárez, G. y Dellmans, R. (2018). Extracción y balance de macronutrientes en caña de azúcar con riego por goteo y en secano. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IAH 30. Agosto. [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/374963DB4724D412032583120072BAA5/\\$FILE/IAH-30.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/374963DB4724D412032583120072BAA5/$FILE/IAH-30.pdf)
- Santos C., V.; de Mello P., R.; de Lima V., R.; Silva C., C. N. (2016). Concentraciones de hierro en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) cultivada en solución nutritiva. Agrociencia. Vol.50 no.7. 867-875. Texcoco. Oct./nov. <http://scielo.org.mx/pdf/agro/v50n7/1405-3195-agro-50-07-867-es.pdf>.
- Valladares A., F.; Torres V., I.; Hernández E., L.; Montalván D., J. & Padrón P., M. (2015). Producción de materia seca en tallos y hojas de caña de azúcar, según épocas de plantación y edades de corte. Agrisost. Vol. 21, No 2: 1-11 <https://core.ac.uk/download/pdf/268093015.pdf>
- Villazón G., J. A.; Martín G., G.; Cobo V., Y.; Rodríguez O., Y. y Montero S., B.

(2016a). 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. Enero-Marzo http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V43-Numero_1/cag01116.pdf

Villazón G., J. A.; Martín G., G.: Cobo V., Y. (2016b). Materia seca y macroelementos primarios en la biomasa foliar de la caña de azúcar fertilizada con diferentes dosis de fósforo. Centro Agrícola, 43(3):63-72. Julio-Septiembre http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V43-Numero_3/cag08316.pdf