

Extracción de macronutrientes en banano 'Dominico' (*Musa* spp.)

Macronutrient extraction in banana 'Dominico' (*Musa* spp.)

Castillo González AM¹, JA Hernández Maruri¹, E Avitia García¹, J Pineda Pineda², LA Valdéz Aguilar³, T Corona Torres⁴

Resumen. El banano es uno de los frutales más importantes en el mundo. México ocupa el octavo lugar en la producción mundial. El desbalance de nutrientes es uno de los principales problemas agronómicos que enfrenta este cultivo. Los programas actuales de fertilización deben basarse en la demanda de nutrientes de los cultivos durante sus etapas fenológicas. A este respecto no existe información para banano 'Dominico' que es uno de los cultivares más importantes en México. Los objetivos de esta investigación fueron evaluar la acumulación y distribución de biomasa y de macronutrientes en plantas de banano 'Dominico' en etapa productiva. Esto contribuirá a determinar la cantidad de elementos y el momento en que los mismos se deben de abastecer. Se seleccionaron al azar plantas adultas de banano 'Dominico' en Atzalán, Veracruz, México. Se hicieron muestreos de raíz, cormo, pseudotallo, hojas con peciolo y racimo de estas plantas a las 2, 4, 6 y 8 semanas después de la emergencia de la inflorescencia (SDEI). En estas muestras se determinaron la acumulación de materia seca y de N, P, K, Ca y Mg. El pseudotallo fue el órgano que más materia seca y minerales acumuló. El elemento más extraído por la planta y los frutos fue el K. El orden de extracción total por planta fue: K > Ca > N > Mg > P. El orden de extracción por los frutos fue: K > N > Ca ≥ P ≥ Mg. La etapa en la que la planta extrajo más elementos fue a las 4 SDEI. La cantidad de minerales a reponer al suelo es la extraída por los racimos, que son los que se retiran de la plantación. Se propone que las aplicaciones de fertilización se hagan, como en otros cultivares, en fracciones hasta las 2 SDEI, para que a las 4 SDEI se tenga garantizado el abastecimiento de nutrientes que asegurará el posterior desarrollo de los frutos y las plantas hijas.

Palabras clave: *Musa* spp.; Acumulación de materia seca; Distribución de biomasa; Distribución de minerales; Extracción de nutrientes.

Abstract. *Musa* spp. is one of the most important fruit crops in the world. Production in Mexico is ranked in the eighth place in the world. Nutrient imbalance is one of the main agronomic problems this species has to deal with. Modern fertilization programs must be designed based on nutrient demand by the cultivated plants, and according to their phenological phase. However, no information is available for 'Dominico', one of the most widespread cultivars in Mexico. The objectives of the present study were to evaluate dry mass and macronutrient accumulation and distribution in banana 'Dominico' during the fruit development phase. This is to determine the amount and timing of fertilizer application. Adult plants were randomly selected in a banana orchard established in Atzalán, Veracruz, México. Root, corm, pseudostem, leaves with petiole, and the bunch were sampled at 2, 4, 6 and 8 weeks after inflorescence emergence (WAIE) on these plants. Samples were processed, and biomass accumulation and N, P, K, Ca, and Mg concentration were determined. Pseudostem was the plant part with the highest dry mass and nutrient accumulation. Potassium was the most extracted nutrient by the plant and the fruit. The sequence for total nutrient extraction per plant was: K > Ca > N > Mg > P. Fruit extraction sequence was: K > N > Ca ≥ P ≥ Mg. The highest nutrient extraction was detected at 4 WAIE. The quantity of mineral nutrients that would have to be replenished into the soil will be those extracted by the bunches because they are removed from the plantation. It is recommended that fertilizer applications be split up to the 2 WAIE. This is to guarantee nutrient supply by the 4 WAIE so that an optimum fruit and daughter plant development could be achieved.

Keywords: *Musa* spp.; Dry mass accumulation; Dry mass distribution; Mineral distribution; Nutrient extraction.

¹ Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38,5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, México. C.P.56230.

Address Correspondence to: Ana Ma. Castillo González, e-mail: anasofiacasg@hotmail.com; José Alfredo Hernández Maruri, e-mail: joalfher@hotmail.com; Edilberto Avitia García, e-mail: anasofiacasg@hotmail.com

² Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38,5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, México. C.P.56230.

Joel Pineda Pineda, e-mail: pinedajjoel@yahoo.com.mx

³ Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Enrique Reyna No. 140, Saltillo, Coahuila, México. C.P.25253.

Luis Alonso Valdéz Aguilar, e-mail: lavaldez@ciqa.mx

⁴ Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36,5 Carretera México-Texcoco, Texcoco, Estado de México, México. C.P.56230.

Tarsicio Corona Torres, e-mail: tcoronat@gmail.com

Recibido / Received 7.V.2010. Aceptado / Accepted 2.XII.2010.

INTRODUCCIÓN

El banano es uno de los frutales más cultivados en el mundo; su producción mundial supera los 70 millones de toneladas, lo que lo convierte en uno de los cultivos más importantes. Los principales países productores son: India, Brasil, China, Ecuador y Filipinas (FAO, 2004). México ocupa el octavo lugar en la producción mundial (FAO, 2005), con una producción anual de 2,25 millones de toneladas (SIAP, 2007).

La producción comercial de bananos enfrenta diversos problemas agronómicos propios del clima tropical, entre los que se destacan los desbalances de nutrientes y el drenaje deficiente del suelo (Ramírez y Rodríguez, 1996).

Los programas actuales de fertilización deben basarse en la demanda de nutrientes de los cultivos durante sus etapas fenológicas. La demanda de un nutriente por un cultivo está dada por su producción de biomasa y las concentraciones de nutrientes totales en los tejidos de la planta (Greenwood, 1983; Bertsch, 2003). Las curvas de extracción de nutrientes determinan la cantidad de los mismos extraídos por una planta durante su ciclo de vida. Con esta información es posible conocer las épocas de mayor absorción de cada nutriente, y definir un programa de fertilización adecuado para el cultivo. En este último se debe considerar tanto la cantidad de fertilizante como la fase fenológica apropiada para hacer las aplicaciones (Bertsch, 2003). Los datos provenientes de estos estudios son importantes, pues constituyen una medida real de lo que consume un cultivo de la siembra a la cosecha. Esto depende del espectro experimental de disponibilidad de nutrientes, y por lo tanto, representan las cantidades mínimas a las que debe tener acceso un cultivo para producir un determinado rendimiento.

En los frutales, la extracción de nutrientes está relacionada con la producción de frutos, el crecimiento de las raíces y de la parte aérea. La extracción de nutrientes por los frutos es variable dentro de una misma especie dependiendo del cultivar (Trocme y Gras, 1979). La removilización de nutrientes es particularmente importante durante la fase reproductiva, cuando se forman las semillas, frutos y órganos de almacenamiento. En este estado, la actividad del sistema radical usualmente decae, como resultado del menor suplemento de carbohidratos a dicho sistema (Fageria et al., 1997).

En términos generales, el ciclo de vida del banano consta de tres etapas: vegetativa, floración y fructificación. El proceso de absorción, reciclaje y reposición de los nutrientes es bastante dinámico, alcanzando su punto máximo en las etapas de floración y llenado de los frutos. El momento más apropiado para hacer los muestreos y determinar los requerimientos de nutrientes de la planta es desde la floración hasta el llenado final de los frutos (Belalcázar et al., 1976).

Los bananos requieren grandes cantidades de minerales para mantener una alta productividad en los huertos comerciales, destacándose la gran demanda por nitrógeno y espe-

cialmente por potasio. Los primeros estados de crecimiento vegetativo son críticos para el desarrollo posterior del racimo, por lo que los nutrientes deben estar disponibles al momento del establecimiento de la planta y del desarrollo de las plantas hijas (Robinson, 1996).

A pesar de la importancia que tiene el banano 'Dominico' en el estado de Veracruz, México, no existe información acerca de las exigencias de nutrientes de dicho cultivo. Esto implica la necesidad de realizar estudios que permitan cuantificar la capacidad de extracción de nutrientes. Los objetivos de este trabajo fueron: (1) evaluar la acumulación y distribución de materia seca y macronutrientes en la planta de banano 'Dominico', y (2) establecer la dinámica de extracción por órgano y la extracción total de N, P, K, Ca y Mg por la planta en su fase productiva. Estos resultados permitirán determinar la cantidad de macronutrientes, y el momento en que los mismos se deben abastecer a la planta después de la cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en una parcela comercial de banano 'Dominico' ubicada en Atzalán, Veracruz, México (19° 57' 05" N, 97° 11' 15" O; 440 m.s.n.m.) (INEGI, 2002). El clima es semicálido húmedo, se caracteriza por presentar una temperatura media anual mayor a 18 °C, y la del mes más frío menor a 18 °C. Hay lluvias todo el año, y durante el invierno las mismas son menores 18%; el mes más seco presenta una precipitación mayor de 40 mm (Vidal, 2005).

El suelo de la plantación fue franco arenoso, con un pH de 4,6; el contenido de materia orgánica fue de 3%, la conductividad eléctrica de 0,16 dS/m, la capacidad de intercambio catiónico de 17,63 Cmol(+)/kg, y la densidad aparente de 1 g/cm³.

La plantación consistió en un sistema marco real 4 m x 4 m, llegando a tener un total de 1875 unidades por hectárea. Cada unidad estuvo constituida por una planta madre con dos plantas hijas. La región donde se realizó el estudio fue de temporal y se fertilizó cuatro veces al año (enero, abril, agosto, noviembre) con la fórmula 20-10-20, aplicando de 150 a 200 g por unidad.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por una planta madre con dos plantas hijas.

Los muestreos se hicieron a las 2, 4, 6 y 8 semanas después de la emergencia de la inflorescencia (SDEI). Para cada una de las etapas se seleccionaron tres unidades.

Se determinó la concentración de nutrientes y la proporción de materia seca. Para ello, las plantas se dividieron separando sus órganos en: raíz, cormo, pseudotallo, hojas con pecíolos y racimo (raquis, frutos y bellota). Para el caso de la raíz, del total de su peso fresco se tomó un kilogramo como muestra. Para el cormo y el pseudotallo se utilizó un tubo de cobre de 50 cm de largo y de 1 pulgada (2,54 cm) de diámetro

como sacabocados: con él se atravesó el pseudotallo, extrayendo muestras cilíndricas a lo largo del mismo. Estas muestras se tomaron cada 20 cm en las plantas hijas, y cada 50 cm en las plantas madre. En el cormo, la muestra se obtuvo del centro del mismo. Del pecíolo se tomaron 15 cm de su parte media o central. Para las hojas se muestrearon 30 cm de la parte central. En cuanto al racimo, el raquis se dividió en dos partes a su largo para tomar como muestra una de ellas; de los frutos se tomaron tres por cada mano (penca), uno de la parte central y dos de las partes laterales, y la bellota se muestreó completa. Los datos de hojas que se presentan son el resultado de la suma de pecíolos y hojas, y los del racimo son la suma del raquis, frutos y bellota. Para cada uno de los órganos se obtuvo el peso fresco total al momento del muestreo, para después estimar el peso seco total; para esto, las muestras se secaron en una estufa con aire forzado a 70 °C hasta peso constante.

Para la determinación de los nutrientes, se hizo una digestión húmeda de la materia seca con una mezcla de ácido sulfúrico y perclórico en relación 4:1 y peróxido de hidrógeno al 30%. La concentración de nitrógeno (N) se evaluó por el método de microkjeldahl; mientras que las concentraciones de fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) se determinaron en un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por inducción acoplada (ICP-AES) de Varian (Australia) (Alcántar y Sandoval, 1999).

Para el análisis de los resultados se realizaron análisis de varianza, tomando como base un diseño de tratamientos completamente al azar. Para todos los casos se hicieron las pruebas de medias de Tukey ($p < 0,05$) utilizando el paquete estadístico SAS versión 8 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS

Acumulación y distribución de materia seca. El valor más alto de acumulación total de materia seca en la planta se presentó a partir de las 4 SDEI con 12567 g, lo que representó un 80% más de materia seca, respecto a lo acumulado en las 2 SDEI (Fig. 1). A las 2 SDEI, la estructura con más acumulación fue el pseudotallo; a las 4 SDEI, lo fue el cormo. En esta etapa, las hojas presentaron 67% más peso seco de lo acumulado en las 2 SDEI. A las 6 SDEI, el pseudotallo volvió a ser la estructura que acumuló más materia seca, en tanto que el cormo la disminuyó en 48%. En esta etapa, el racimo alcanzó su máxima acumulación de biomasa (1950 g), y los frutos representaron el 90% del peso seco total del mismo. A las 8 SDEI el pseudotallo incrementó su biomasa en un 16% con respecto a la etapa anterior, con un incremento total de 72% en relación a la acumulada a las 2 SDEI. La raíz mantuvo casi constante la acumulación de materia seca durante las cuatro etapas. El orden de acumulación total de materia seca por órgano fue: pseudotallo \geq cormo $>$ hojas \geq racimo $>$ raíz (Tabla 1).

Fig. 1. Acumulación de materia seca en banano 'Dominico' en Veracruz, México.

Fig. 1. Dry matter accumulation in banana 'Dominico' in Veracruz, Mexico.

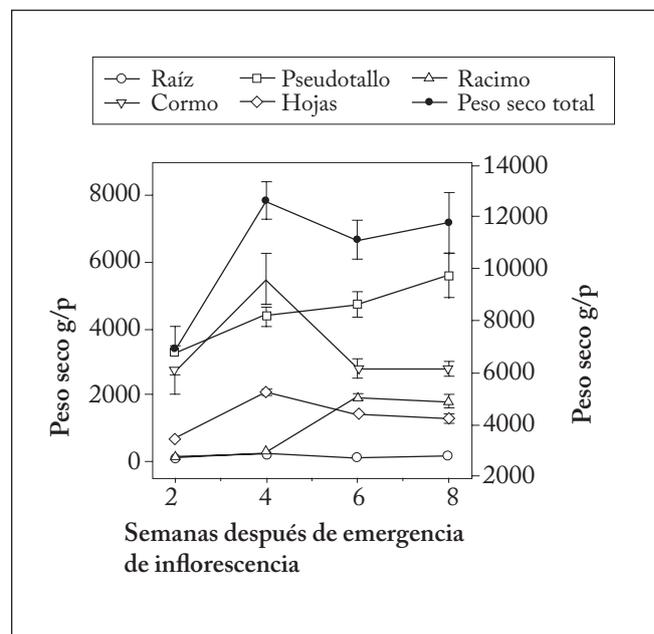


Tabla 1. Distribución de materia seca y macronutrientes en plantas de banano "Dominico" en Veracruz, México.

Table 1. Dry mass and macronutrient partition in banana "Dominico" plants in Veracruz, Mexico.

Órgano	Materia seca (kg)	N	P	K	Ca	Mg
Raíz	0,17 b	0,61 c	0,18 d	4,4 c	1,0 d	0,47 b
Cormo	3,50 a	11,50 a	4,50 ab	38,6 b	9,0 c	7,60 a
Pseudotallo	4,50 a	12,80 a	6,20 a	118,1 a	25,7 a	9,00 a
Hojas	1,40 b	9,80 ab	2,90 bc	29,0 b	16,9 b	3,60 b
Racimo	1,00 b	3,60 bc	1,70 cd	15,6 bc	2,0 cd	1,40 b
Total	10,57	38,31	15,48	205,7	54,6	22,07

Acumulación y extracción de nutrientes. La máxima acumulación de N, P, K y Ca en la planta se presentó a las 4 SDEI (Figs. 2 a 5); en esta etapa, el K se incrementó hasta en un 170%, y el Ca en un 120% (Fig. 5), con respecto a las 2 SDEI (Fig. 4). Todos los elementos, con excepción del K, presentaron una tendencia a disminuir en las siguientes semanas; la magnitud de la disminución dependió del tipo de elemento. El N disminuyó 53% (Fig. 2), el P 50% (Fig. 3) y el Ca 32% (Fig. 5). La acumulación de Mg fue creciente desde las 2 hasta las 6 SDEI, y a las 8 SDEI disminuyó un 7% (Fig. 6).

Fig. 2. Acumulación y extracción total de nitrógeno en banano 'Dominico' en distintos órganos en Veracruz, México.

Fig. 2. Accumulation and total extraction of nitrogen from various structures in banana 'Dominico' in Veracruz, Mexico.

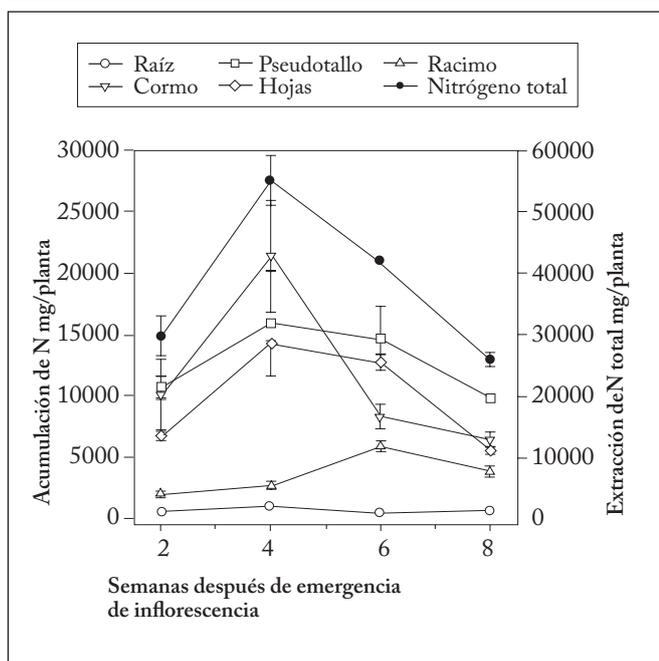
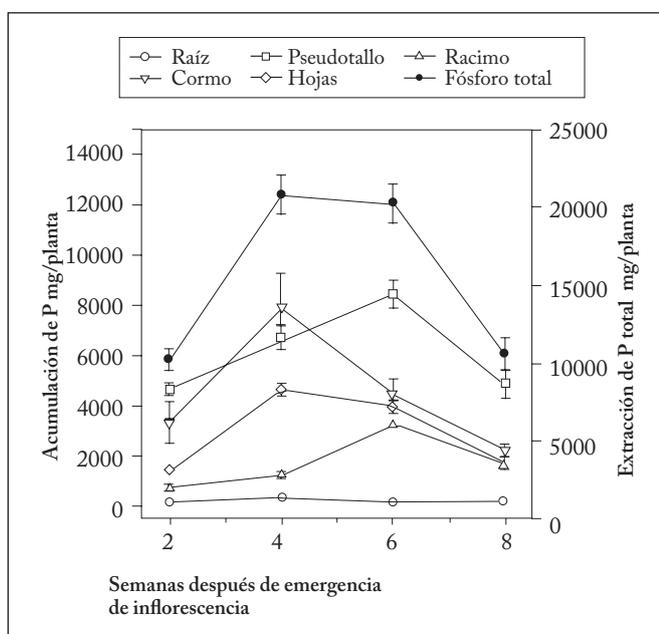


Fig. 3. Acumulación y extracción total de fósforo en banano 'Dominico' en distintos órganos en Veracruz, México.

Fig. 3. Accumulation and total extraction of phosphorus from various structures in banana 'Dominico' in Veracruz, Mexico.



La mayor acumulación de todos los elementos en cormo y hojas se presentó a las 4 SDEI (Figs. 2 a 6). A partir de las 6 SDEI, la acumulación de Ca en el cormo fue constante, y la de las hojas disminuyó después de las 4 SDEI (Fig. 5).

Hubo una importante disminución en la acumulación de Mg en el cormo después de las 4 SDEI hasta las 6 SDEI, para mantenerse constante posteriormente. Al mismo tiempo, la acumulación de Mg en las hojas tuvo una ligera disminución a las 6 y 8 SDEI (Fig. 6). La mayor acumulación de N en el pseudotallo se observó a las 4 SDEI, pero la de P, Ca y Mg fue a las 6 SDEI. El K se acumuló de manera creciente a través del tiempo en dicho órgano (Fig. 4), y fue considerablemente mayor que en el resto de los órganos. El racimo presentó la máxima acumulación de nutrientes a las 6 SDEI, excepto el Ca cuya acumulación fue constante a través de las semanas (Fig. 5). La acumulación de todos los nutrientes en la raíz fue constante a través de las etapas evaluadas (Figs. 2 a 6).

Distribución de los nutrientes. Los órganos que acumularon más N fueron el pseudotallo, el cormo y las hojas, sin diferencias estadísticas entre ellos. El racimo presentó 3,6 g y la raíz fue la estructura que menos N acumuló con sólo 0,6 g. El orden de acumulación de nitrógeno fue el siguiente: pseudotallo = cormo \geq hojas > racimo > raíz. El órgano que acumuló más P fue el pseudotallo, siguiéndole en orden el cormo > hojas > racimo > raíz. El pseudotallo fue el órgano que acumuló la mayor cantidad de K, en tanto que la menor cantidad fue acumulada por la raíz. El orden de acumulación de K fue: pseudotallo > cormo \geq hojas \geq racimo > raíz. El orden de acumulación de Ca fue: pseudotallo > hojas > cormo > racimo \geq raíz. La acumulación de magnesio fue igual en pseudotallo y cormo (8 g; $p > 0,05$) y similar ($p > 0,05$) en hojas, racimo y raíz. El orden de acumulación fue: pseudotallo = cormo > hojas = racimo = raíz (Tabla 1).

Tabla 2. Acumulación de macronutrientes en las estructuras del racimo de banano 'Dominico' al momento de cosecha en Veracruz, México.

Table 2. Macronutrient accumulation in banana 'Dominico' raceme structures at harvesting time in Veracruz, Mexico.

Elemento	Bellota	Raquis	Frutos	Total
				(g)
N	0,32	0,31	2,93	3,56
P	0,14	0,31	1,26	1,71
K	0,96	4,21	10,45	15,62
Ca	0,16	0,56	1,30	2,02
Mg	0,09	0,19	1,14	1,42

Extracción de nutrientes por el racimo. Al momento de la cosecha, los frutos fueron las demandas más fuertes de todo el racimo (Tabla 2); el K y el N fueron los elementos más acumulados por los frutos, siendo la acumulación de K aproximadamente tres veces mayor que la de N.

La extracción total de nutrientes (en kg/ha) considerando 1875 unidades por hectárea fue de 71,2; 29; 386,6; 102,7 y 41 para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. El racimo de esa cantidad de unidades por hectárea extrajo, en kg/ha, 6,8 para

N; 3,2 para P; 29,3 para K; 3,7 para Ca y 2,6 para Mg. Considerando que un racimo de este banano a cosecha tuvo un peso fresco promedio de 9 kg, una tonelada de fruta extrajo aproximadamente: 403 g de N; 189,6 g de P; 1,7 kg de K; 219 g de Ca y 154 g de Mg.

Fig. 4. Acumulación y extracción total de potasio en banano 'Dominico' en distintos órganos en Veracruz, México.

Fig. 4. Accumulation and total extraction of potassium from various structures in banana 'Dominico' in Veracruz, Mexico.

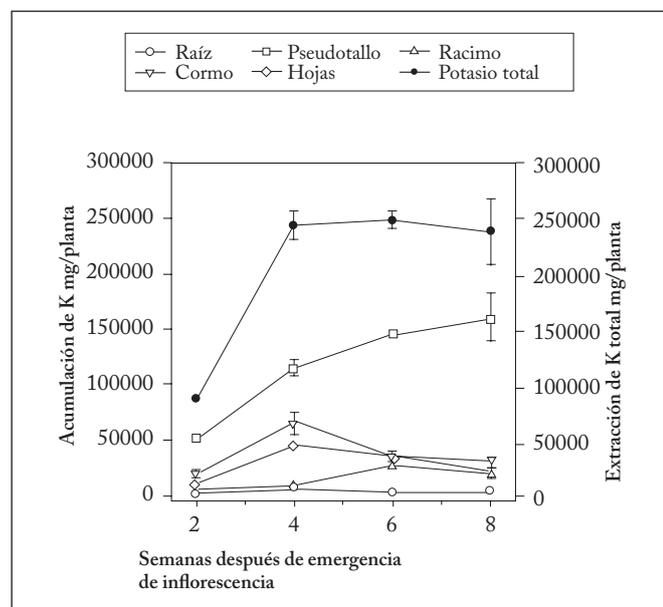


Fig. 5. Acumulación y extracción total de calcio en banano 'Dominico' en distintos órganos en Veracruz, México.

Fig. 5. Accumulation and total extraction of calcium from various structures in banana 'Dominico' in Veracruz, Mexico.

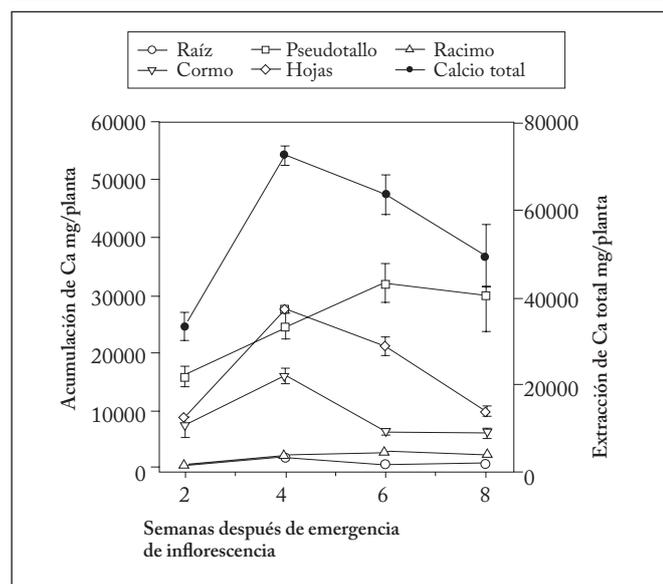
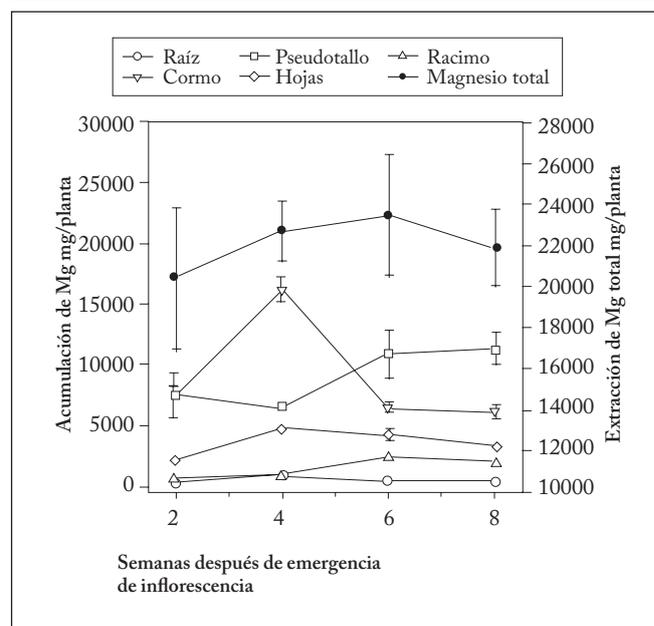


Fig. 6. Acumulación y extracción total de magnesio en banano 'Dominico' en distintos órganos en Veracruz, México.

Fig. 6. Accumulation and total extraction of magnesium from various structures in banana 'Dominico' in Veracruz, Mexico.



DISCUSIÓN

Acumulación y distribución de materia seca. La máxima acumulación de materia seca en la planta a las 4 SDEI se debió principalmente a la acumulación en el cormo y pseudotallo, lo que coincide con lo observado por Belalcázar et al. (1976). Estos autores indicaron que (1) las mayores cantidades de biomasa (peso seco) correspondieron al pseudotallo y el cormo, y (2) el punto máximo de acumulación de biomasa en la planta generalmente coincidió con las etapas cercanas al corte del racimo. Para cultivares como el Cavendish Enano (AAA), el pseudotallo alcanza su altura máxima y en consecuencia, su peso máximo en el momento de la emergencia de la floración. Esto es debido a que esta estructura es bastante robusta para soportar el peso del racimo que algunas veces es mayor a los 50 kg. El pseudotallo es muy pulposo: contiene alrededor del 95% del agua, lo que lo hace una estructura muy pesada (Robinson, 1996). Eckstein et al. (1995) observaron que en banano 'Williams' (AAA) el pseudotallo tuvo la mayor fuerza de demanda por asimilados disponibles a los 7 a 9 meses después de plantación, lo que permitió el desarrollo de esta estructura. Turner et al. (2007) mencionaron que después de la emergencia del racimo, no se forman más hojas en el pseudotallo debido a que el racimo es terminal. En el caso del banano 'Dominico', el pseudotallo aparentemente siguió acumulando materia seca aún después de la emergencia de la floración, debido al desarrollo de las últimas hojas que emergieron antes de la misma (Fig. 1).

El cormo es un órgano de almacenamiento de reservas, que sostiene el crecimiento del racimo y de la planta hija seleccionada para sustituir a la planta madre después de la cosecha. En banano 'Cavendish Enano' (AAA), el cormo contuvo cerca del 35% de la materia seca total de la planta antes de la floración, y a la madurez del fruto, éste removilizó las reservas para contribuir al desarrollo del mismo, de tal manera que bajó su peso seco a menos del 20% (Robinson, 1996). Esto coincide con los resultados obtenidos en banano 'Dominico': a las 2 SDEI, el cormo representó el 39% de la materia seca total de la planta, y a las 4 SDEI el mismo casi duplicó su peso (Fig. 1); a las 6 SDEI, el cormo bajó su biomasa en un 50% por removilización de reservas hacia los frutos en desarrollo y a las dos plantas hijas. En esta etapa, los frutos alcanzaron su máximo desarrollo y en consecuencia su máxima acumulación de materia seca. Eckstein et al. (1995) mencionaron que después de la floración, el racimo representó el punto de mayor demanda en la planta.

Las hojas a las 4 SDEI casi triplicaron su peso con respecto al peso acumulado a las 2 SDEI, para disminuirlo en 31 y 39% en las siguientes dos etapas. Esto significa que todavía después de la floración había desarrollo de las hojas más recientes y posteriormente, cuando maduras, se produjo la movilización de fotosintatos al racimo y las plantas hijas, lo que condujo a esas disminuciones. Eckstein et al. (1995) observaron que después de la floración en banano 'Williams' (AAA) el incremento gradual en el tamaño de la hoja aseguró que el número de hojas funcionales y área foliar total sobre la planta se incrementaran rápidamente hasta la floración. El racimo presentó su máxima acumulación de materia seca a las 6 SDEI, mientras que la biomasa del cormo y de las hojas disminuyó (Fig. 1). Esto sugiere que hubo removilización de fotoasimilados desde el cormo y hojas al racimo en desarrollo y a la planta hija seleccionada. El pseudotallo, a diferencia de lo que observaron Turner et al. (2007), no presentó disminución en esta etapa. Estos autores observaron que a lo largo del desarrollo del racimo, el porcentaje de materia seca en el cormo, pseudotallo y hojas disminuyó rápidamente, mientras que éste se incrementó en el racimo y la planta hija seleccionada.

Acumulación y extracción de nutrientes. Las plantas de banano, en general, requieren grandes cantidades de minerales para mantener alta la productividad en las plantaciones comerciales; particularmente tienen una demanda muy alta por nitrógeno y potasio (Fontaine et al., 1989; Turner et al., 2007). Sin embargo, la cantidad óptima requerida para el cultivo de banano difiere de acuerdo al suelo y cultivar (Mostafa, 2005). Los primeros estadios de crecimiento vegetativo son críticos para el posterior desarrollo del racimo. Esto implica que los minerales deben estar disponibles a la planta al momento del establecimiento y crecimiento de la planta hija sucesora (Robinson, 1996). En el caso de esta investigación con banano 'Dominico', a las 4 SDEI la planta duplicó la acumulación

de N, P y Ca, y casi triplicó la de K, en relación a los valores registrados a las 2 SDEI. La acumulación de Mg, sin embargo, se mantuvo sin cambios considerables a través del tiempo (Figs. 2 a 6). Esta acumulación máxima de N, P, K y Ca a las 4 SDEI coincidió con la máxima acumulación de materia seca en la planta. El crecimiento vegetativo es promovido por el N y existe una estrecha relación entre el crecimiento (acumulación de materia seca) y la absorción de N (Robinson, 1996). Como se observa en la Figura 4, el K fue el elemento que la planta acumuló en mayor cantidad, lo que coincide con diversos trabajos, en los cuales se manifestó que el potasio es requerido en grandes cantidades por las plantas de banano (Fontaine et al., 1989; Mostafa, 2005). Más aún, el nutriente más absorbido de todos los otros minerales combinados, lo que lo hace un elemento crítico (Martin-Prével, 1980; Turner et al., 2007). Estos resultados coinciden con lo encontrado en banano 'Dominico', ya que la suma de las extracciones de todos los elementos, excepto potasio, fue de 108 g/planta a las 8 SDEI. En esta fecha, la extracción de K fue de 238,9 g/planta, lo que confirma el predominio del K en la nutrición del banano. Este elemento puede llegar a constituir hasta un 10% de la materia seca de una planta (Epstein y Bloom, 2005). Este alto requerimiento de K es debido a que la planta de banano contiene (y mantiene) una alta cantidad de agua por unidad de superficie de suelo (Turner et al., 2007). El K, por su alta concentración en la célula, se desempeña como el mayor osmolito que permite el mantenimiento de la turgencia y el equilibrio osmótico de las células (Epstein y Bloom, 2005; Wiendehoeft, 2006).

El fósforo es, de los macronutrientes, el menos disponible en el suelo, particularmente en regiones tropicales donde la química del suelo difiere de suelos de climas templados (Robinson, 1996; Wiendehoeft, 2006), y su concentración en la planta está por debajo del resto de los macronutrientes. El P es uno de los elementos más importantes, ya que afectan significativamente el crecimiento y el metabolismo de la planta (Raghothama, 1999). El requerimiento de P por la planta de banano, como en todos los cultivos, no es tan grande como el de N y K, por lo que los síntomas de deficiencia son raros. Las plantas de banano acumulan el P que requieren por un largo periodo, lo pierden relativamente poco a través del fruto, y lo redistribuyen fácilmente a la planta hija. Las plantas de banano normalmente absorben más P del requerido en el ciclo de cultivo, entre los tres y nueve meses después de la plantación; durante la fase reproductiva la absorción decrece cerca del 80% (Robinson, 1996). En este caso, en banano 'Dominico' se observó que durante la fase reproductiva e inicio del desarrollo de fruto (4 SDEI) la planta todavía acumuló P. A las 8 SDEI (cosecha) la acumulación disminuyó debido a que el fruto ya se había desarrollado completamente y sólo quedaba la demanda de las dos plantas hijas. La cantidad de Ca acumulado en la planta fue superior a la de N a partir de las 4 SDEI (Fig. 5). Este elemento divalente juega un papel importante en la estructura de la pared celular, membrana celular y

transducción de señales en la planta (Wiendenhoeft, 2006), y está involucrado en la división y expansión celular (Fageria et al., 1997). Los requerimientos de Mg para el crecimiento de los cultivos son más pequeños que los de Ca (Fageria, 2009). Quizás en banano esto se deba a que la absorción de Mg está influenciada más por la concentración de Mg alrededor de las raíces que por la tasa de crecimiento de la planta (Robinson, 1996).

La disminución en la acumulación de N, P y Ca en la última etapa (8 SDEI) se debe a que la demanda de estos elementos en los estados posteriores al crecimiento vegetativo disminuye considerablemente. Sin embargo, esta disminución se debió más probablemente a la pérdida de estructuras de la planta, ya que la bellota pierde brácteas y las hojas senescentes se retiran del pseudotallo y se reincorporan al suelo. Estudios con aplicaciones de $ZnSO_4$ en banano en Brasil (Moreira y Fageria, 2009) informaron que el orden de absorción de elementos fue: $K > N > Ca > Mg > P$, en tanto que en banano 'Dominico' el orden de acumulación fue: $K > Ca > N > Mg > P$. El pseudotallo, cormo y hojas fueron las estructuras que presentaron la mayor acumulación de nutrientes, debido a que fueron las que más materia seca acumularon. Belalcázar et al. (1976) mencionaron que el cormo y el pseudotallo fueron los órganos que acumularon la mayor cantidad de N y P. Soto (1992) indicó que estos dos órganos fueron usualmente acumuladores de nitrógeno. La fertilización con N y K ha incrementado la longitud y diámetro del pseudotallo, número de hojas verdes, área foliar, peso y número de manos y dedos por racimo, y mejorado el tiempo a formación del racimo y la calidad de los dedos (Mostafa, 2005). En el racimo de banano 'Dominico' el potasio fue el elemento más acumulado, seguido del N, Ca, P y Mg (Tabla 2). El requerimiento de K es muy alto para el desarrollo del racimo, y si el suelo no puede abastecerlo en cantidad suficiente, después de la floración, las hojas lo movilizan al mismo (Robinson, 1996). Esto coincide con lo observado en este trabajo en banano 'Dominico'; a partir de las 4 SDEI, la acumulación de K en las hojas disminuyó (Fig. 4). Bajo condiciones de insuficiencia de K se producen racimos pequeños y frágiles, con frutos delgados. Esto es debido a que disminuye la removilización de fotosintatos desde las hojas hacia el racimo y la conversión de azúcares a almidón dentro del mismo (Robinson, 1996). La reducción en el tamaño del racimo por deficiencia de K es superior a la reducción que sufren los otros órganos de la planta (Turner y Barkus, 1980); además, su deficiencia disminuye el número de hojas verdes y la producción de las plantas de banano (Mostafa, 2005). El N es otro elemento muy importante en el desarrollo del racimo, ya que su abastecimiento favorece el incremento en peso (Weerasinghe et al., 2004).

El Ca fue ligeramente más acumulado en el racimo que el P y el Mg. El Ca es un elemento muy poco móvil dentro de la planta de banano, por lo que en condiciones de aporte bajo, la calidad del fruto es baja y la cáscara del fruto ma-

duro se parte (Robinson, 1996). Moreira y Fageria (2009) observaron que el Ca tiene removilización baja hacia los frutos, y la mayor cantidad de este elemento es retenida en las hojas; el N, P, K y Mg, sin embargo, tienen alta tasa de removilización. En un estudio de acumulación y distribución de nutrientes en frutos de banana 'Mysore', Salomão et al. (2004) observaron que el orden de extracción de los elementos por los frutos en su máximo estado de acumulación de materia fresca fue: $K > N > Mg > P > Ca$. Estos resultados representan ligeras diferencias con lo encontrado en banano 'Dominico', en el que el orden de acumulación fue: $K > N > Ca \geq P \geq Mg$.

Bertsch (2003) señaló que los cálculos de extracción de nutrientes deben realizarse con respecto a la cantidad de los mismos consumidos por los racimos, ya que toda la estructura de la planta, excepto el racimo, se reincorpora y recicla en el suelo de la plantación. La tonelada de fruto fresco de banano 'Dominico' extrajo un total de 403 g de N; 189,6 g de P; 1,7 kg de K; 219 g de Ca y 154 g de Mg. Estos valores de extracción varían con el cultivar, ya que Neves et al. (1991) reportaron para una tonelada de banana cv. Pacovan una extracción de 1,9 kg de N y 0,68 kg de P_2O_5 . Por su parte, la tonelada del cv. Mysore extrajo 0,977 kg de N y 0,195 de P (Salomão et al., 2004).

CONCLUSIONES

En banano 'Dominico' una etapa importante de demanda y extracción de elementos minerales es a las 4 SDEI. A partir de entonces, hay removilización de fotoasimilados y nutrientes desde las hojas y el cormo hacia el racimo y las plantas hijas. El órgano de mayor acumulación de materia seca y minerales fue el pseudotallo, seguido por el cormo. La estructura principalmente abastecedora del racimo por removilización fue el cormo, seguido de las hojas. Los frutos alcanzaron su máximo desarrollo a las 6 SDEI. En este cv. de banano se reitera la gran demanda de K por el cultivo y los frutos, seguido del N y Ca. El elemento menos demandado por los frutos fue el P; el Ca y Mg fueron requeridos en cantidades muy similares. Las aplicaciones de nutrientes pueden ser como en otros cultivares: en fracciones que se apliquen durante el crecimiento vegetativo, hasta las 2 SDEI. De esta forma, posteriormente, el desarrollo del fruto y las plantas hijas tendrán garantizado muy probablemente el abastecimiento de los elementos. Las cantidades a reponer al suelo serán las extraídas por los racimos, que son los que se retiran de la plantación, y que corresponden en este caso a: 403 g de N; 189,6 g de P; 1,7 kg de K; 219 g de Ca y 154 g de Mg por tonelada de fruta cosechada. Considerando una población de 1875 plantas, la extracción de nutrientes será 6,8 kg de N; 3,2 kg de P; 29,3 kg de K; 3,7 kg de Ca y 2,6 kg de Mg por hectárea.

REFERENCIAS

- Alcántar, G.G. y M. Sandoval V. (1999). Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados. México. 156 p.
- Belalcázar, S.L., C.A. Salazar M., G. Cayón S., J.E. Lozada Z., L.E. Castillo y J.A. Valencia M. (1976). Manejo de plantaciones: En: Belalcázar, S.L. (ed), pp. 149-239. El Cultivo del Plátano (*Musa AAB Simmonds*) en el Trópico. Instituto Colombiano Agropecuario, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Cali, Colombia.
- Bertsch, F. (2003). Absorción de Nutrientes por los Cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307 p.
- Eckstein, K., J.C. Robinson y S.J. Davie (1995). Physiological responses of banana (*Musa AA*; Cavendish subgroup) in the subtropics. (III) Gas Exchange, growth analysis and source-sink interaction over a complete crop cycle. *Journal of Horticultural Science* 70: 169-180.
- Epstein, E. y A.J. Bloom (2005). Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. 2nd ed. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts, USA. 400 p.
- Fageria, N.K., V.C. Baligar y C.A. Jones (1997). Growth and Mineral Nutrition of Field Crops, 2nd ed. Marcel Dekker. New York, USA. 624 p.
- Fageria, N.K. (2009). The use of Nutrients in Crop Plants. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 430 p.
- FAO (2004). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Situación Actual y Perspectivas a Plazo Medio para las Frutas Tropicales. http://www.fao.org/es/esc/en/15/190/highlight_191_p.html
- FAO (2005). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Situación Actual y Perspectivas a Plazo Medio para las Frutas Tropicales. <http://www.fao.org/es/ess/top/commodity.html?lang=es&item=2638&year=2005>
- Fontaine, S., B. Delvaux, J.E. Dufey y A.J. Herbillon (1989). Potassium exchange behavior in Caribbean volcanic ash soils under banana cultivation. *Plant and Soil* 120: 283-290.
- Greenwood, D.J. (1983). Quantitative theory and the control of soil fertility. *New Phytologist* 94: 1-18.
- INEGI (2002). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Anuario Estadístico. Gobierno del Estado de Veracruz-Llave. Tomo I. México.
- Martín-Prével, P. (1980). La nutrition minérale du bananier dans le monde. Première partie. *Fruits* 35: 503-518.
- Moreira, A. y N.K. Fageria (2009). Yield, uptake, and retranslocation of nutrients in banana plants cultivated in upland soil of Central Amazonian. *Journal of Plant Nutrition* 32: 443-457.
- Mostafa, E.A.M. (2005). Response of Williams banana to different rates of nitrogen and potassium fertilizers. *Journal of Applied Sciences Research* 1: 67-71.
- Neves, L.R.L., F.F.H. Ferreyra, R.F.P. Maciel y J.N.E. Frota (1991). Extração de nutrientes em banana (*Musa sp.*) cv. Pacovan. *Ciência Agronômica, Fortaleza* 22: 115-120.
- Raghothama, K.G. (1999). Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 665-693.
- Ramírez, S.G. y J.C. Rodríguez C. (1996). Manual de Producción de Plátano para Tabasco y Norte de Chiapas. Folleto Técnico No. 13. División Agrícola, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Tabasco, México. 81 p.
- Robinson, J.C. (1996). Bananas and Plantains. CAB International. University Press, Cambridge. 238 p.
- Salomão, Ch.L.C., R. Puschmann, D.L. de Siqueira y C. de A. Nolasco (2004). Acúmulo e distribuicao de nutrientes em banana 'Mysore' em desenvolvimento. *Revista Brasileira de Fruticultura* 26: 290-294.
- SAS Institute (1999). SAS/STAT Guide for Personal Computers. Version 8. Cary, N. C. USA. 518 p.
- SIAP (2007). Sistema de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, http://www.siap.gob.mx/agricola_siap/cultivo/inde.jsp
- Soto, M. (1992). Bananos. Cultivo y Comercialización. 3^a. Edición. Imprenta Lil. San José, Costa Rica. 674 p.
- Trocme, S. y R. Gras (1979). Suelos y Fertilización en Fruticultura. Traducción al español por F. Gil-Albert. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. 388 p.
- Turner, D.W. y B. Barkus (1980). Plant growth and dry matter production of the 'Williams' banana in relation to supply of potassium, magnesium and manganese in sand culture. *Scientia Horticulturae* 12: 27-45.
- Turner, D.W., J.A. Fortescue y D.S. Thomas (2007). Environmental physiology of the bananas (*Musa spp.*). *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4): 463-484.
- Vidal, Z. R. (2005). Las Regiones Climatológicas de México. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. D. F. México. 212 p.
- Weerasinghe, P., N.H.R. Premalal y S.N.K. Seranasinghe (2004). Influence of nitrogen on crop performances and leaf nitrogen status of dense-planted banana. *Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture* 6: 217-226.
- Wiedenhoeft, A.C. (2006). Plant Nutrition. Chelsea House, New York, USA. 144 p.