



Agronomía Mesoamericana
ISSN: 1021-7444
ISSN: 1659-1321
pccmca@ucr.ac.cr
Universidad de Costa Rica
Costa Rica

Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica ¹

Furcal-Beriguete, Parménides

Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica ¹

Agronomía Mesoamericana, vol. 28, núm. 1, 2017

Universidad de Costa Rica, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43748637008>

DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.23236>

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica ¹

Nutrient extraction by cocoa fruits in two locations in Costa Rica

Parménides Furcal-Beriguete
Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Costa Rica
pafurcal@itcr.ac.cr

DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v28i1.23236>
Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43748637008>

Recepción: 30 Marzo 2016

Aprobación: 27 Junio 2016

RESUMEN:

Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica. El objetivo de la presente investigación fue analizar la extracción de nutrientes en frutos de clones de cacao (*Theobroma cacao*). El estudio se hizo en plantaciones de cacao de siete años, en las localidades de Katira, Guatuso y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, entre los meses de marzo a agosto del año 2014. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con tres repeticiones; para el análisis se mezclaron por separado las semillas y la cáscara de tres frutos, para formar una repetición de cada uno de los siete clones de cacao seleccionados por el CATIE por su tolerancia a moniliasis (*Moniliophthora roreri*), calidad y altos rendimientos. Los resultados obtenidos mostraron que de una tonelada de semillas secas de estos clones, incluyendo la cáscara del fruto, se extraen entre 33,45 a 37,80 kg de nitrógeno (N), entre 40,35 y 50,64 kg de potasio (K), y de fósforo (P) en un rango de 7,33 a 8,37 kg. El orden de extracción de los nutrientes fue: K>N>P>Mg>Ca>Mn>Fe>Zn>B = Cu.

PALABRAS CLAVE: Theobroma cacao, fertilización de cacao, mazorca de cacao, remoción de nutrimentos.

ABSTRACT:

Nutrient extraction by cocoa fruits in two locations in Costa Rica. The objective of this research was to analyze the extraction of nutrients in cocoa clones fruits (*Theobroma cacao*). The study was conducted in seven years old cocoa plantations in the localities of Katira, Guatuso and the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, between the month of March and August of 2014. The experimental design used was completely random with three replicates; for the analysis, seeds and shell from three fruits were mixed separately to form a repetition of each of the seven cocoa clones selected by CATIE because of its tolerance to moniliasis (*Moniliophthora roreri*), quality and high yields. The obtained results showed that from one ton of dry seeds of this clones, including the shell of the fruit, it's extracted between 33.45 to 37.80 kg of nitrogen and a range going from 40.35 to 50.64 kg of potassium (K), and phosphorus (P) in a range of 7.33 to 8.37 kg. The nutrient extraction order was: K>N>P>Mg>Ca>Mn>Fe>Zn>B = Cu.

KEYWORDS: Theobroma cacao, cocoa fertilization, cocoa cob, nutrient removal.

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica años atrás predominaban materiales obtenidos a través de semilla, así como de cruces interclonales. En la actualidad, la producción de cacao es por medio de clones, por sus características agronómicas como estabilidad productiva, altos rendimientos (superior a los 1500 kg de granos seco/ha/año) y calidad, además integran tolerancia a moniliasis (*Moniliophthora roreri*) (Castellano, 2007; Phillips et al., 2012). Esta alternativa tecnológica y otras, como cambios en fermentado de los granos y análisis económicos del cultivo, sirven para mejorar los ingresos de los productores de cacao (Canacacao, 2012), siempre y cuando se maneje buena estrategia de mercado con la intervención de todos los sectores, incluyendo el estado.

Existen factores básicos para la competitividad de Costa Rica en los mercados internacionales, tales como condiciones climáticas, ubicación geográfica y mercado amplio, para el cacao fino y aromático que produce el país. En Centroamérica, Costa Rica es el único país reconocido por el Organismo Internacional del Cacao (ICCO) como productor internacional de cacao fino y aromático (Barrantes y Foster, 2010).

En la actualidad hay un déficit de cacao por la creciente demanda en Asia, se estima que para el 2020 este será de un millón de toneladas (World Cacao Foundation, 2013; Canacacao, 2014). Es por lo anterior, que alternativas de producción, como las indicadas previamente, pueden favorecer un repunte del cultivo del cacao en el país; sin embargo, se requiere hacer estudios sobre el uso de los nuevos clones en producción, pues en la actualidad, producto de un intento de reducir los efectos de *M. royeri*, reportada en 1978, el CATIE desarrolló nuevos clones de cacao con tolerancia a este hongo, cuyo comportamiento agronómico no ha sido completamente descrito, y por ende, aspectos asociados a la fertilización y nutrición de este cultivo deben ser nuevamente evaluados. A través de lo anterior, de acciones tomadas por el gobierno (Canacacao, 2008) y a la creación de la Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica (Canacacao), se inició en 2008 un ascenso en el área cultivada de cacao, año en el que se registraron unas 4484 ha sembradas (SEPSA, 2010), con un pequeño incremento de 2,62% al año 2011 (SEPSA, 2012), datos que al parecer se mantienen similares al registrarse 4600 ha sembradas en el 2013 (SEPSA, 2014) y una producción de 700 t.

La remoción de nutrientes, al menos los de mayor consumo como el potasio, nitrógeno, calcio, fósforo y magnesio, se incrementa en los primeros cinco años después de la siembra de la plantación de cacao, a partir de esa edad se estabiliza, manteniendo la tasa de absorción por el resto del ciclo del cultivo (Salvador et al., 2012).

El nivel de radiación solar que llega a la plantación de cacao tiene efecto directo en el crecimiento, el rendimiento del cultivo y en la demanda nutricional. Bajo una cobertura abundante de sombra en un cacaotal, el rendimiento del cultivo es bajo (Cueva, 2013). Por el contrario, donde predomina poca o ninguna cobertura de árboles de sombra, la absorción de nutrientes y los rendimientos de cacao son más altos y a su vez hay mejores respuestas a la fertilización, especialmente con N (Figueroa y Caverro, 2011; Cueva, 2013). Al aumentar la dosis de N, es necesario hacer aplicaciones de K y P, y otros elementos según su contenido en el suelo, para mantener el balance nutricional de estos (INPOFOS, 2000).

En un cacaotal el éxito en la obtención de altos rendimientos y la sostenibilidad de estos en el tiempo está supeditado a variables climáticas, sin dejar de lado el manejo del cultivo (Paredes-Arce, 2003; Cueva, 2013); bajo condiciones climáticas adecuadas y manejo necesario se presentan respuestas favorables en el crecimiento y rendimiento, con la aplicación de fertilizantes (López et al., 2007; Ruales et al., 2011; Cueva, 2013). Ruales et al. (2011) encontraron diferencias entre dosis de tratamientos compuestos con mezclas de las fórmulas de fertilizantes (19-4-19, 15,5-0-0-26 (CaO), Kmag y KCl), estas diferencias se produjeron por cambios de dosis entre los fertilizantes químicos y respecto a la fertilización con dominancia orgánica (300 g/árbol/año de ácido húmico más 100 g de Sulfomag (k 26%, Mg 11%, S 20%)), esta última produjo los más bajos rendimientos.

La remoción de nutrimentos de una producción de 1000 kg de almendras secas de cacao, en promedio fue de 44, 28, 30, y 35 kg de N; asimismo, se removió de potasio, expresado como K_2O : 77; 57,7; 40 y 50 kg; del elemento fósforo, la remoción en forma de P_2O_5 fue de: 10, 13,2, 8 y 10 kg (Paredes-Arce, 2003; Espinosa et al., 2006; López et al., 2015). Del mismo modo, esa misma cantidad de cacao removió 13 kg de calcio como óxido de este elemento (López et al., 2015); mientras que de magnesio, en forma de MgO, la remoción reportada fue de 12, 10 y 15 kg por cada 1000 kg de almendras secas (Espinosa et al., 2006; López et al., 2015). Si las cáscaras de la mazorca se retornaran a la finca, la devolución o el reciclado en el suelo sería alrededor de 24 kg de K_2O , 5 kg de P_2O_5 y 2 kg de N (Paredes-Arce, 2003). Se observó que la extracción de K por la cáscara es alto respecto a los demás elementos (López et al., 2015); el K es un elemento que cumple función en el metabolismo y por ende, es fundamental tanto en la etapa vegetativa como en la reproductiva (López et al., 2015).

Los rangos de requerimientos de nutrientes del cultivo de cacao para producir una cosecha de 1000 kg de semillas secas son de 64,8 a 103 kg; 31 a 40 kg y 11,5 a 13,75 kg de K_2O , N y P_2O_5 , respectivamente; mientras que se requieren de 7 a 11,2 kg de CaO y de 8,3 a 11,6 kg de MgO (Sánchez et al., 2005).

Las extracciones de nutrientes en el tiempo y para un rendimiento determinado son de utilidad al momento de la programación de la fertilización (Bertsch, 2005; Valle y Proaño, 2006). Valle y Proaño (2006)

encontraron en seis materiales de cacao que la concentración de K desciende en las hojas durante la fase de crecimiento del fruto y el N durante la floración, resultados que están relacionados con la absorción de nutrientes. De lo anterior se deduce la importancia de estudios de extracciones de nutrientes en los materiales en desarrollo en plantaciones comerciales y experimentales del país, para que los productores puedan ajustar las dosis de los elementos en los programas de fertilización.

La mayor extracción por los frutos de cacao es del nutriente K, seguido por el N (Valle y Proaño, 2006), resultados que contradicen el orden de extracción $N > K$ de otro estudio con 23,59 kg de N, 15,95 kg de K y 6 kg de P del clon ICS-95; mientras que la del clon CCN-51 fue de 21,88 kg de N, 11,11 kg de K y 4,7 kg de P (Puentes-Páramo et al., 2014b). Estos autores encontraron mayor extracción de N y P en las semillas, mientras que las cáscaras removieron más K en cuatro clones, igualmente encontraron que las hojas concentran más N que cualquier otro elemento.

Esta investigación se planteó con el objetivo de analizar la extracción de nutrientes en frutos de clones de cacao (*Theobroma cacao*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización de las plantaciones

Las mazorcas de cacao se cosecharon entre los meses de marzo y agosto del 2014 en dos localidades, en la provincia de Alajuela, cantón de Guatuso, distrito de Katira, en las coordenadas $10^{\circ} 43' 51,87''$ N y $84^{\circ} 55' 02,43''$ O a una altura de 177 msnm; y la otra en la provincia de Cartago, cantón de Turrialba, en la finca ubicada a $9^{\circ} 52' 32,74''$ N y $83^{\circ} 39' 17,29''$ O a una altura de 597 msnm, en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Durante el periodo de evaluación en el CATIE, la precipitación fue de 2482 mm y cinco meses antes del inicio de cosecha fue de 241 mm. En la localidad de Katira no fue posible obtener información climática del lugar por falta de una estación meteorológica, sin embargo, los datos históricos indican que la precipitación es de alrededor de 3000 mm anual. Los suelos son de fertilidad baja en el CATIE, en tanto en Katira presentan alto contenido de potasio, los resultados de los análisis de suelos se presentan en el Cuadro 1.

CUADRO 1
Resultados de análisis de suelos hechos antes del muestreo de mazorcas de cacao en las localidades de Turrialba y Katira, Costa Rica. Marzo, 2014.

Lote	cmol(+) / l						mg / l				%		
	pH	Acidez	Ca	Mg	K	SB	P	Cu	Fe	Mn	Zn	MO	S. acidez
CATIE	4,31	1,79	2,1	0,42	0,16	2,67	18	19	275	9	3	5,22	40,25
Katira	6,02	0,16	6,3	1,77	0,99	9,11	11	21	209	52	14	5,70	1,73

Análisis de textura				
% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase de textura	
CATIE	38	40	22	Franco arcillosa
Katira	11	70	19	Arcillosa

MO: materia orgánica, S. acidez: saturación de acidez, SB: suma de bases / MO: organic material, S. acidez: saturation acidity, SB: sum bases.

Table 1. Soil analysis before cocoa cob sampling in two locations (CATIE and Katira), Costa Rica. March 2014.

Características del material genético y manejo del cultivo

Las mazorcas cosechas para este estudio fueron de siete clones trinitarios, cinco de ellos procedentes del CATIE, Costa Rica: CATIE-R1, CATIE-R4, CATIE-R6, CC-137 y PMCT-58, y los otros dos de origen extranjero, el IMC-67 originario de Perú y el ICS-95T1 cuyo origen es Trinidad y Tobago; estos clones fueron distribuidos en Centroamérica por el CATIE, a partir del 2007, con el propósito de evaluar el comportamiento en cuanto a rendimiento y tolerancia a *M. royeri*.

Los clones utilizados para esta investigación ya han sido caracterizados en cuanto a peso promedio de los frutos 589,7; 573,7; 566,1; 556,7; 461,6 y 441,1g para ICS-95 T1, CATIE-R4, CATIE-R6, CATIE-R1, CC-137 y PMCT-58, respectivamente; en ese mismo orden el peso fresco promedio de las semillas por fruto reportado es de 102; 144,7; 127,2; 93,4; 117,3 y 93,1 g y el rendimiento en cada uno de ellos es mayor a 1500 kg de semillas secas/ha/año (Phillips et al., 2012).

Los lotes de cacao donde se cosecharon los frutos fueron conducidos por sus respectivos propietarios en cuanto a poda, fertilización y control de sombra. En ambas fincas no hubo control químico de plagas ni enfermedades. El año anterior a la cosecha de las mazorcass consideradas para la evaluación, el plantío del CATIE había sido fertilizado con la fórmula 18-5-15-6-0,2(B)-7(S); mientras que en Katira al momento del muestreo no había recibido fertilización. La edad de los árboles al momento del muestreo, en ambas localidades, era de siete años.

Cosecha de los frutos y análisis químicos

En el país se han identificado dos picos de cosecha de cacao, de marzo a mayo y de octubre a noviembre, razón por la cual la recolección de los frutos para el análisis se hizo en esos dos periodos; en el CATIE la recolección se hizo principalmente en el primer pico de cosecha, mientras que en Katira el muestreo se hizo de igual forma en ambos periodos.

Las mazorcass se tomaron al azar, las que se encontraran maduras en cada muestreo, en los árboles identificados dentro de sus respectivos clones. El clon CATIE-R1 no estaba plantado en la parcela de la localidad de Katira, por lo que no se incluyeron frutos de este clon para el análisis en esa localidad. Además de la cosecha de los frutos de los siete clones, se cosecharon frutos de los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 injertados en patrones de los clones universales IMC-67 y UF 613, con el propósito de analizar si los patrones tenían influencia en la remoción de nutrientes por los frutos.

En los árboles identificados de cada clon se cosecharon mazorcass maduras hasta completar nueve. Estas fueron enumeradas según el orden de la cosecha y se formaron tres grupos (repeticiones) de frutos (1 a 3, 4 a 6 y 7 a 9), se identificó cada grupo con los números del 1 al 3 y el nombre de identificación del clon. Las tres mazorcass de cada grupo (repetición) se abrieron y se separaron las semillas de la placenta, luego se mezclaron por aparte las semillas de las tres mazorcass del resto de las mazorcass (placenta más cáscara). Finalizada la mezcla de las partes de las mazorcass se picaron las cáscaras, se pesaron para registrar el peso fresco promedio de las semillas y el resto de la mazorca, por separado. Luego, las muestras se introdujeron en un horno con corriente de aire forzado para secado de tejido vegetal durante 96 horas a 60 °C, y se pesaron nuevamente para obtener la materia seca de las semillas y el resto de la mazorca, utilizada para el cálculo de la extracción de los nutrientes.

Del material seco, cáscara y semillas, se tomó una muestra por separado para los análisis químicos respectivos, después de la digestión húmeda con ácido nítrico concentrado, al ser tratada con cloruro de lantano al 1%, se determinó el contenido de Ca, Mg y K a través de lectura en un espectrofotómetro de absorción atómica. Mientras que el Fe, Mn, Cu y Zn se leyeron directamente del filtrado en el espectrofotómetro de absorción atómica. Para la obtención del P y B la muestra se trató con molibdato de amonio y azometina-H, respectivamente, y posteriormente, se realizó la lectura en un espectrofotómetro ultravioleta visible (UV-vis); finalmente, el N se analizó acorde al método Dumas en un analizador N elemental. Con estos resultados y los de materia seca, se calculó la extracción referida a 1000 kg de semillas de cacao seco y su correspondiente resto de la mazorca, de la forma como la mayoría de los autores reportan los estudios de absorción y extracción de nutrientes en cacao.

Análisis de los datos

Los datos se analizaron a través de un diseño completamente randomizado con 5% de probabilidad, donde la unión de tres mazorcass fungió como una repetición por clon, como se describió en el punto anterior, con siete tratamientos (clones) y tres repeticiones en cada localidad. Posterior al análisis de varianza, se hizo un análisis con la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Además, para la zona del CATIE se compararon, a

través de contrastes ortogonales, los clones R4 y R6 injertados en dos portainjertos (UF-613 y IMC-67), es decir, R4/UF-613 vs R4/ IMC-67, R6/UF-613 vs R6/ IMC-67, y R4/UF-613, R6/UF-613 vs R4/ IMC-67-137, R6/ IMC-67.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca

El contenido promedio de materia seca (MS) de todos los clones fue mayor en la zona de Katira que en CATIE (Cuadro 2), a pesar de que no en todos hubo diferencias significativas. Al relacionar el contenido de MS de semillas y del resto de la mazorca, con la MS total de la mazorca, fue más alto el porcentaje de semillas en el CATIE que en Katira; el valor fue de 43,7% de semillas en CATIE respecto al resto de la mazorca, y de 39,6% en la zona de Katira; esta relación es importante en cuanto a rendimiento de semillas secas y por ende, en el cálculo de extracción de nutrimentos, en este caso indicó que el mayor peso de la mazorca en Katira fue por la cáscara y no por las semillas.

CUADRO 2

Materia seca de las partes de la mazorca de cacao (semillas y restos de la mazorca), en los siete clones para determinar la extracción de nutrientes. Localidades de CATIE y Katira, Costa Rica. Octubre del 2014.

Clon	Localidad					
	CATIE	Katira	CATIE	Katira	CATIE	Katira
	Materia seca (g) y su relación (%)					
	Semillas		Restos de mazorca (cáscara y placenta)		Mazorca completa	
IMC-67	58,7a*	70,3a	98,3b	114,5a	156,9b	184,9a
PMCT-58	55,5a	60,4a	98,3b	114,5a	153,8a	174,9a
CC-137	61,6a	65,5a	51,8b	80,3a	113,4b	145,8a
ICS-95	45,1a	57,5a	53,2b	102,2a	98,2b	159,7a
CATIE-R1	47,0		53,0		100,0	
CATIE-R4	43,3b	65,4a	49,3b	84,3a	92,6b	149,7a
CATIE-R6	44,1a	56,6a	54,5a	75,3a	98,6a	131,9a
	50,8	62,6	65,5	95,2	116,2	157,9
Promedio	43,7%	39,6%	56,4%	60,3%	100%	100%

Table 2. Dry matter content in seven clones in two locations (CATIE and Katira, Costa Rica), used for nutrient extraction estimation in parts of cocoa cob (seeds and cob remains). October 2014.

* Medias con letra común entre localidades no son significativamente diferentes ($p>0,05$) / Means with common letter between localities are not significantly different ($p>0,05$).

Al individualizar los clones por localidad, en algunos no hubo diferencias significativas en MS de la mazorca, lo que indica que hay clones que se comportaron iguales en la dos localidades y otros diferentes, como es el caso de los materiales IMC-67, CC-137, ICS-95 y CATIE-R4, cuyas mazorcas presentaron peso seco mayor ($p\leq 0,05$) en Katira que en el CATIE. Algo importante, es que las semillas estadísticamente no fueron diferentes ($p>0,05$), excepto en el clon CATIE-R4, por lo que la diferencia de MS en mazorca se debió principalmente al peso del resto de la mazorca (Cuadro 2). Los clones IMC-67 y el PMCT-58 presentaron las mazorcas más grandes en las dos localidades; se encontró mayor MS de semillas con el IMC-67 en Katira, mientras que en CATIE se obtuvo con el CC-137; quizás el mayor peso de las mazorcas en Katira se debió a que procedían de árboles con mayor vigor, probablemente por estar sembrados en un suelo de fertilidad alta (Cuadro 1) respecto al suelo del CATIE, a pesar de ser de la misma edad en ambas zonas. Además, en la zona de CATIE se presentó una época de baja precipitación, lo que también pudo propiciar cáscaras de menor peso.

Durante el periodo de cosecha (marzo a agosto) en el CATIE la precipitación fue de 2482 mm, cinco meses antes la precipitación fue 241 mm, considerada esta última baja respecto al total del año y que pudo afectar el desarrollo de la mazorca. La humedad ambiental, el viento y la presión atmosférica, afectan el desarrollo del cacao, sin embargo, la temperatura del aire y la cantidad de lluvia son los dos principales elementos del

clima que controlan el crecimiento y producción del cacao (Rojas y Sacristán-Sánchez, 2013). Paredes-Arce (2003) reporta que los valores óptimos oscilan entre 1600 mm a 2500 mm distribuidos durante todo el año.

En un estudio similar, el clon PMCT-58 presentó el peso fresco más bajo de frutos de los clones evaluados en el CATIE (Phillips et al., 2012), sin embargo, en este estudio, aunque se refiere a peso seco, este clon junto con el IMC-67 arrojaron el mayor peso de la MS de la mazorca. En datos obtenidos en el estudio mencionado anteriormente, el clon CC-137 presentó 117,3 g de peso fresco de semillas, el cual es un valor bajo respecto a los demás clones, igual que un índice de 1,7 g/semilla (Phillips et al., 2012), es posible que este sea un indicativo de que el peso fresco y peso seco no son proporcionales, dado que este clon obtuvo el valor más alto en este estudio en MS de semillas por mazorca procedente del CATIE, y el segundo valor más alto en MS de semillas por mazorca procedente de Katira, dichos valores fueron de 61,6 g y 65,5 g, respectivamente (Cuadro 2).

Concentración de nutrientes

La concentración promedio de nutrimentos de los clones en evaluación fue mayor en la zona del CATIE, tanto en semillas como en los restos de la mazorca, ($p \leq 0,05$), excepto en calcio, manganeso, hierro y boro, ya que en ambas partes de la mazorca no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$); la concentración de zinc en las semillas fue más alta estadísticamente en Katira que en CATIE, pero en los restos de la mazorca se comportó de manera inversa (Cuadro 3).

CUADRO 3

Concentración promedio de nutrimentos en semillas y en los restos de la mazorca de clones de cacao en dos localidades de Costa Rica, para determinar la extracción de nutrientes en frutos de siete clones. Octubre, 2014.

Localidad	%									
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	Semillas					Restos de la mazorca				
CATIE	2,4a*	0,62a	1,12a	0,11a	0,38a	1,26a	0,21a	4,0a	0,37a	0,40a
Katira	2,2b	0,54b	1,05a	0,14a	0,33b	0,94b	0,18b	3,1b	0,42a	0,32b
Localidad	Mg/kg									
	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	Semillas					Restos de la mazorca				
CATIE	43,3a	48,5b	47,1a	63,0a	27,7a	19,8a	70,8a	201,5a	57,3a	35,0a
Katira	35,7b	53,1a	37,5a	55,9a	27,7a	15,1b	54,9b	188,9a	43,8a	31,1a

Table 3. Average nutrient content in seven clones in two locations (CATIE and Katira, Costa Rica), used for nutrient extraction estimation in parts of cocoa cob (seed and cocoa cob remains). October 2014.

* Medias con letra común entre localidades no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) / Means with common letter between localities are not significantly different ($p > 0,05$).

En los Cuadros 4 y 5, se detallan los valores de las concentraciones de elementos por cada clon, donde se aprecia que en sentido general fueron más altas en las partes de las mazorcas procedentes del CATIE que en las cosechadas en la zona de Katira; sin embargo, diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con r^2 entre 0,67 y 0,98, se manifestaron en dos clones (Cuadro 4), en el clon IMC-67 en el elemento Mg en los restos de la mazorca, y en P y K, tanto en las semillas como en los restos de la mazorca, y en el clon CC-137, en los elementos N y K en los restos de la mazorcas. En el Cuadro 5, se observa que hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$), con r^2 entre 0,67 y 0,91, en N en los clones ICS-95 y CATIE-R4, en el primero en los restos de la mazorcas y en el segundo en las dos partes de la mazorca. También hubo diferencias significativas en el elemento K en los restos de la mazorca en los clones ICS-95 y CATIE-R6, en todos los casos, la concentración de nutrimentos en los clones en el CATIE, superó a la concentración de nutrimentos en la localidad de Katira, excepto en Ca y en B en los restos de la mazorca de los clones CATIE-R4 e ICS-95, respectivamente, igualmente en Zn en las semillas del clon CATIE-R6. Este comportamiento de la concentración de nutrientes en la materia seca es indicativo de la remoción o extracción de nutrientes de las partes de la mazorca, puesto que la absorción es la relación entre el peso de la materia seca y la concentración de nutrientes en estas (Bertsch, 2005). La mayor

concentración de N y P en las semillas, y de K en la cáscara obtenida en este estudio (Cuadros 3, 4 y 5) coincide con los datos de Puentes-Páramo et al. (2014b); por el contrario, difiere en los rangos de concentración de N y K, tanto en semillas como en cáscara, los cuales fueron inferiores a los reportados en el mismo estudio.

CUADRO 4
Concentración de nutrientes en las semillas y en los restos de la mazorca de los clones de cacao IMC-67, PMCT-58 y CC-137 en dos localidades de Costa Rica, para determinar la extracción de nutrientes. Octubre, 2014.

Clon de cacao IMC-67. Concentración en % y g/ha*										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	2,44a**	0,72a	1,19a	0,07a	0,45a	50,0a	55,3a	39,0a	76,0a	32,7a
Katira	2,22a	0,55b	1,06b	0,09a	0,34a	35,0a	59,3a	43,3a	58,3a	25,3a
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Restos de la mazorca										
CATIE	1,24a	0,21a	4,17a	0,31a	0,44a	20,0a	66,0a	149,3a	84,3a	35,3a
Katira	1,06a	0,16b	3,20b	0,36a	0,32b	15,7a	56,7a	191,3a	56,3a	35,3a
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Clon de cacao PMCT-58. Concentración en % y g/ha										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	2,52a	0,60a	0,96a	0,11a	0,38a	44,7a	50,3a	39,0a	58,3a	31,0a
Katira	2,22a	0,49a	1,06a	0,09a	0,34a	40,3a	55,0a	41,3a	51,3a	27,2a
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Restos de la mazorca										
CATIE	1,19a	0,22a	3,73a	0,40a	0,42a	19,3a	68,0a	198,7a	36,7a	36,3a
Katira	0,52a	0,20a	3,53a	0,28a	0,33a	17,7a	59,0a	178,3a	53,3a	29,3a
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Clon de cacao CC-137. Concentración en % y g/ha										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	2,41a	0,55a	1,21a	0,11a	0,35a	47,0a	45,3a	61,7a	75,3a	27,0a
Katira	2,34a	0,57a	1,12a	0,16a	0,34a	44,3a	52,0a	43,0a	49,3a	51,7a
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Restos de la mazorca										
CATIE	1,28a	0,18a	4,46a	0,32a	0,37a	20,7a	75,0a	191,3a	101,0a	36,7a
Katira	0,96b	0,17a	3,34b	0,48a	0,31a	19,7a	63,7a	226,7a	44,3a	37,7a
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B

Table 4. Nutrient content in IMC-67, PMCT-58, and CC-137 clones, in two locations (CATIE and Katira, Costa Rica), used for nutrient extraction estimation in parts of cocoa cob (seed and cocoa cob remains). October 2014.
* Unidades. %: N, P, K, Ca y Mg; g/ha: Cu, Zn, Mn, Fe y B / Units. %: N, P, K, Ca and Mg; g/ha: Cu, Zn, Mn, Fe and B.
** Medias con letra común entre localidades no son significativamente diferentes (p>0,05) / Means with common letter between localities are not significantly different (p>0.05).

CUADRO 5

Concentración de nutrientes en las semillas y en los restos de la mazorca de los clones de cacao ICS-95, CATIE-4 y CATIE-R6 en dos localidades de Costa Rica, para determinar la extracción de nutrientes. Octubre, 2014.

Clon de cacao ICS-95. Concentración en % y g/ha*										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	2,42a**	0,63a	1,08a	0,20a	0,39a	36,3a	43,0a	52,7a	55,3a	31,0a
Katira	2,28a	0,60a	1,09a	0,18a	0,34b	36,0a	42,0a	49,0a	55,3a	26,3a
Restos de la mazorca										
CATIE	1,34a	0,25a	3,28a	0,52a	0,41a	19,0a	82,0a	264,0a	29,0a	31,0b
Katira	1,08b	0,20a	2,61b	0,44a	0,34a	14,3a	53,3b	196,7a	38,7a	36,3a
Clon de cacao CATIE-R4. Concentración en % y g/ha										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	2,41a	0,62a	1,18a	0,08a	0,36a	46,3a	50,0a	51,7a	66,3a	22,0a
Katira	2,09b	0,61a	1,04a	0,24a	0,33a	32,3a	59,3a	22,0a	61,7a	18,0a
Restos de la mazorca										
CATIE	1,23a	0,21a	3,97a	0,37b	0,38a	18,7a	64,7a	210,3a	59,3a	33,7a
Katira	1,06b	0,18a	3,07a	0,62a	0,39a	11,0b	50,3a	166,3a	28,7a	27,3a
Clon de cacao CATIE-R6. Concentración en % y g/ha										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	2,40a	0,62a	1,16a	0,08a	0,35a	40,7a	47,0b	39,3a	62,7a	23,7a
Katira	2,65a	0,59a	1,04a	0,14a	0,32a	33,7a	59,7a	43,0a	61,7a	23,3a
Restos de la mazorca										
CATIE	1,38a	0,20a	4,41a	0,34a	0,40a	20,0a	68,7a	172,7a	53,7a	41,0a
Katira	1,13a	0,17a	3,04b	0,46a	0,32b	14,3a	54,3a	234,3a	39,3a	28,3a

Table 5. Nutrient content in ICS-95, CATIE-R4, and CATIE-R6 clones, in two locations (CATIE and Katira, Costa Rica), used for nutrient extraction estimation in parts of cocoa cob (seed and cocoa cob remains). October 2014.

* Unidades. %: N, P, K, Ca y Mg; g/ha: Cu, Zn, Mn, Fe y B / Units. %: N, P, K, Ca and Mg; g/ha: Cu, Zn, Mn, Fe and B.

** Medias con letra común entre localidades no son significativamente diferentes ($p>0,05$) /

Means with common letter between localities are not significantly different ($p>0,05$).

Extracción o remoción de nutrientes

Extracción general por las partes de la mazorca y localidad

En las mazorcas procedentes del CATIE hubo mayor extracción que en las mazorcas de la localidad de Katira (Cuadro 6). La más alta extracción en la mayoría de los nutrientes se produjo debido a que en CATIE la concentración de los nutrientes fue mayor, tanto en las semillas como en los restos de la mazorca (Cuadros 3, 4 y 5), esto a pesar de que en Katira hubo mayor materia seca en la mayoría de los clones.

CUADRO 6

Extracción promedio de nutrientes por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca de siete clones de cacao en dos localidades de Costa Rica. Octubre, 2014.

Localidad	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Extracción por las semillas de cacao secas										
CATIE	24,10a*	6,22a	11,2a	1,1b	3,8a	43,3a	48,5b	47,1a	57,4a	35,0a
Katira	23,02a	5,68b	10,5a	1,5a	3,3b	36,9b	54,5a	40,3a	56,2a	28,9a
Extracción por los restos de la mazorca										
CATIE	12,62a	2,12a	39,9a	3,7b	4,0a	19,8a	70,8a	201,5a	63,0a	27,7a
Katira	10,09b	1,71b	31,3b	4,4a	3,4b	15,4b	56,2b	198,9a	43,4b	32,4a
Extracción total de nutrientes por tonelada de semillas más restos de mazorca										
CATIE	36,73	8,34	51,08	4,79	7,80	63,10	119,3	248,6	120,4	62,7
Katira	33,11	7,39	41,85	5,93	6,69	52,39	110,7	239,2	99,7	61,0

Table 6. Average nutrient extraction (ton dry seeds) in seven clones in two locations (CATIE and Katira, Costa Rica), in parts of cocoa cob (seed and cocoa cob remains). October 2014.

* Medias con letra común entre localidades no son significativamente diferentes ($p>0,05$) /

Means with common letter between localities are not significantly different ($p>0,05$).

El orden de extracción de macronutrientes por las mazorcas de los clones de cacao en este trabajo fue $K > N > P$, resultados que coinciden con el orden publicado por varios autores (Paredes-Arce, 2003; Sánchez et al., 2005; Espinosa et al., 2006; Salvador et al., 2012; López et al., 2015), pero difiere de otro estudio que reportó mayor extracción de N que de potasio (Puentes-Páramo et al., 2014a).

En estudios donde se reportó la extracción de Ca y Mg hubo diferencias en el orden de remoción, en este estudio se obtuvo mayor extracción de Mg que Ca, igual que el resultado obtenido por López et al. (2015), pero difirieron con Cueva (2013), quien reportó extracción inversa ($Ca > Mg$); mientras que otro trabajo indicó que el Ca y el Mg se extraen en igual cantidad (Sánchez et al., 2005). Dentro de los micronutrientes, la mayor extracción ocurrió para el manganeso (Mn) seguido por el hierro (Fe) y el zinc (Zn), estos dos últimos con valores muy similares; las extracciones menores se dieron para el cobre (Cu) y el boro (B), que presentaron valores semejantes (Cuadro 5). En conclusión, en este estudio, el orden de extracción de los nutrientes fue $K > N > P > Mg > Ca > Mn > Fe > Zn > Cu = B$.

Los valores de remoción de nitrógeno (N) fueron mayores significativamente ($p \leq 0,05$) en los restos de las mazorcas procedentes del CATIE, que las cosechadas en Katira (Cuadro 6). Los valores de extracción de N en ambas localidades coincidieron con los reportados por otros autores, quienes presentaron valores entre 30 y 40 kg de N por cada 1000 kg de semillas secas, incluyendo la cáscara (Sánchez et al., 2005); mientras que en otro estudio similar se reportó un valor más alto, 44 kg (Paredes-Arce, 2003), y en otro, un valor menor (28 kg de N total/1000 kg de semillas secas/año) (Espinosa et al., 2006).

Los valores promedios de extracción de K en los restos de las mazorcas procedentes de las mazorcas cosechadas en el CATIE, superaron significativamente a los valores promedios de las mazorcas de los clones en Katira ($p \leq 0,05$) (Cuadro 6), este resultado pudo deberse a que, pese a que en primer lugar, el suelo es menos fértil (Cuadro 1), los árboles habían sido fertilizados con la fórmula 18-5-15-6-0,2(B)-7(S), lo que posiblemente permitió mayor concentración de la mayoría de nutrientes en la materia seca, incluyendo el K (Cuadro 3); además, se debe considerar que la capacidad de absorción y utilización de nutrientes está supeditada al material genético y a los niveles nutricionales disponibles en el suelo (Bertsch, 2005; Puentes-Páramo et al., 2014a), y a la vez, al manejo del cultivo y árboles de sombra (Uribe et al., 1998; Figueroa y Cavero, 2011; Cueva, 2013).

La extracción promedio de 41,85 kg de K en Katira (Cuadro 6) fue superior al valor de 33,35 kg mencionado por Figueroa y Cavero (2011) y Salvador et al. (2012), pero inferior que los datos entre 54 y 85,8 kg de K por 1000 kg de semillas de cacao secas por año, incluyendo la cáscara de la mazorca, reportados por otros autores (Paredes-Arce, 2003; Sánchez et al., 2005). En otros estudios se reportaron valores de 11 a 16 kg de K (Puentes-Páramo et al., 2014b) y 33,33 kg de K (Figueroa y Cavero, 2011; Salvador et al., 2012), sin incluir la cáscara de la mazorca.

En cuanto a la extracción de P y Mg hubo diferencias ($p \leq 0,05$) entre las dos localidades y en ambos componentes de la mazorca (Cuadro 6). La cantidad extraída de P, aunque ligeramente superior, fue parecida a las obtenidas en estudios similares (Paredes-Arce, 2003; Sánchez et al., 2005), con valores entre 5 y 7 kg de P; mientras que en el trabajo de Espinosa et al. (2006) se presentó un valor de P superior a los demás (13,2 kg). Para Mg, varios autores han obtenido valores entre 5 y 7 kg por 1000 kg de semillas secas por año, incluyendo la cáscara (Sánchez et al., 2005; Salvador et al., 2012), datos que coinciden con los encontrados en este trabajo (Cuadro 6), a pesar de corresponder a materiales genéticos diferentes. Otros autores presentaron valores ligeramente superiores (Espinosa et al., 2006; López et al., 2015). Por el contrario, extracciones entre 5 y 9,3 kg de Ca por 1000 kg de semillas secas, incluyendo la cáscara, se han presentado en estudios similares (Sánchez et al., 2005; Salvador et al., 2012), lo que supera ligeramente el valor de Ca obtenido en las mazorcas procedentes del CATIE, mientras que la extracción promedio de Ca por las mazorcas de la localidad de Katira se encuentra dentro del rango presentado por los estudios mencionados (Cuadro 6).

Extracción por las partes de la mazorca por clon y localidad

Al separarse las partes de la mazorca, las semillas de los restos de la mazorca, se encontró que las semillas remueven o extraen más N y P que los restos de la mazorca (Cuadro 6), caso inverso cuando se refiere a los elementos Ca y K que son extraídos en mayor cantidad por los restos de la mazorca (cáscara más placenta), resultados similares a los encontrados por Puentes-Páramo et al (2014b). Respecto al K, varios autores coinciden en que la cáscara de la mazorca de cacao es rica en este elemento (Cueva, 2013; Puentes-Páramo et al., 2014a). El Mg, a pesar que arroja diferencias significativas entre localidades, fue removido en cantidad similar por las dos partes de la mazorca (Cuadro 6), el promedio de las localidades fue 3,55 kg de Mg por las semillas, y 3,70 kg por los restos de la mazorca.

Este comportamiento de la distribución de los nutrimentos es importante conocerlo para la planeación de la fertilización, tomando en consideración el destino de las cáscaras, sean retiradas o devueltas a la plantación, si las mismas son devueltas se debe tener cuidado de distribuir las en toda la plantación para homogenizar en toda el área la materia orgánica y nutrientes que estas aportan. El manganeso (Mn) fue el microelemento extraído en mayor cantidad por los restos de la mazorca, caso contrario sucedió con el cobre (Cu), que se extrajo en mayor cantidad por las semillas. Los demás micronutrientes (Fe, Zn y B) fueron removidos en proporciones no bien definidas por ambas partes de la mazorca (Cuadro 6).

A pesar que la extracción por la mazorca de los clones estudiados en algunos elementos no mostró diferencias entre sí sin considerar la localidad, cuando se relacionó la extracción de cada clon en cada una de las dos localidades, se encontró que algunos de estos pueden tener comportamiento distinto dependiendo de la localidad; es así como mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en la extracción de macroelementos; en las semillas, únicamente los clones IMC-67 en los elementos K, P y Mg, ICS-95 en Mg y CATIE-R4 en N, estas diferencias favorecieron a la localidad de CATIE. Estos mismos tres clones también mostraron diferencias en los restos de la mazorca a favor de la localidad del CATIE respecto a Katira, pero no necesariamente en los mismos macroelementos, se exceptuó en el clon IMC-67, donde la diferencia se repitió en K, P y Mg (Cuadros 7 y 8); además de estos clones, también hubo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los restos de la mazorca en los clones PMCT-58 en N, CC-137 en N y K y en el clon CATIE-R6 en los elementos K y Mg, igualmente con valores más altos en la localidad del CATIE, como se observa en los Cuadros 7 y 8, excepto en el clon CATIE-R4, en el cual el contenido de Ca fue mayor significativamente en Katira.

CUADRO 7

Extracción de nutrientes por las semillas secas y restos de la mazorca de los clones de cacao IMC-67, PMCT-58 y CC-137 en dos localidades de Costa Rica. Octubre, 2014.

Clon de cacao IMC-67. Extracción en kg/ha y g/ha*										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	24,4a**	7,2a	11,9a	0,7a	4,5a	50,0a	55,3a	39,3a	84,3a	32,7a
Katira	22,4a	5,5b	9,7b	1,1a	3,3b	35,0a	59,0a	43,3a	58,0a	25,3a
Restos de la mazorca										
CATIE	12,4a	2,1a	41,7a	3,1a	4,4a	20,0a	66,0a	149,3a	76,0a	35,3a
Katira	10,6a	1,6b	32,0b	3,6a	3,2b	15,7a	56,7a	191,3a	56,3a	35,2a
Clon de cacao PMCT-58. Extracción en kg/ha y g/ha										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	25,2a	6,0a	9,6a	1,1a	3,8a	44,7a	50,3a	39,0a	36,7a	31,0a
Katira	22,2a	4,9a	10,6a	0,9a	3,4a	40,3a	55,0a	41,3a	51,3a	27,3a
Restos de la mazorca										
CATIE	11,9a	2,2a	37,3a	4,0a	4,2a	19,3a	68,0a	198,0a	58,3a	36,3a
Katira	7,6b	2,0a	35,3a	2,8a	3,3a	17,7a	59,0a	178,3a	53,3a	29,3a
Clon de cacao CC-137. Extracción en kg/ha y g/ha										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	24,1a	5,5a	12,1a	1,1a	3,5a	47,0a	45,3a	61,7a	101,0a	27,0a
Katira	23,4a	5,7a	11,2a	1,6a	3,4a	44,3a	52,0a	43,0a	49,3b	51,6a
Restos de la mazorca										
CATIE	12,8a	1,8a	44,6a	3,2a	3,7a	20,7a	75,0a	191,3a	75,3a	36,7a
Katira	9,6b	1,7a	33,4b	4,8a	3,1a	19,7a	63,7a	226,7a	44,3a	37,6a

Table 7. Nutrient extraction per of dry seeds in IMC-67, PMCT-58 y CC-137 clones, in two locations (CATIE and Katira, Costa Rica), in parts of cocoa cob (seed and cocoa cob remains). October 2014.

* Unidades. kg/ha: N, P, K, Ca y Mg; g/ha: Cu, Zn, Mn, Fe y B / Units. Kg/ha: N, P, K, Ca and Mg; g/ha: Cu, Zn, Mn, Fe and B.

** Medias con letra común entre localidades no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) / Means with common letter between localities are not significantly different ($p > 0,05$).

CUADRO 8

Extracción de nutrientes por las semillas y restos de la mazorca de los clones de cacao ICS-95, CATIE-4 y CATIE-R6 en dos localidades de Costa Rica. Octubre, 2014.

Clon de cacao ICS-95. Extracción en kg/ha y g/ha*										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	24,2a**	6,3a	10,8a	2,0a	3,9a	36,3a	43,0a	52,7a	29,0a	31,0a
Katira	22,8a	6,0a	10,9a	1,8a	3,4b	36,0a	42,0a	49,0a	55,3a	26,3a
Restos de la mazorca										
CATIE	13,4a	2,5a	32,8a	5,2a	4,1a	19,0a	82,0a	264,0a	55,3a	31,0a
Katira	10,8b	2,0a	26,1b	4,4a	3,4a	14,3a	53,3b	196,7a	38,7a	36,3b
Clon de cacao CATIE-R4. Extracción en kg/ha y g/ha										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	24,1a	6,2a	11,8a	0,8a	3,6a	46,3a	50,0a	51,7a	59,3a	22,0a
Katira	20,9b	6,1a	10,4a	2,4a	3,3a	32,3a	59,3a	22,0a	61,7a	18,0a
Restos de la mazorca										
CATIE	12,3a	2,1a	39,7a	3,7a	3,8a	18,7a	64,7a	210,3a	66,3a	33,7a
Katira	10,6b	1,3b	30,7a	6,2b	3,9a	11,0b	50,3a	166,3a	28,7b	27,3a
Clon de cacao CATIE-R6. Extracción en kg/ha y g/ha										
Zona	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas										
CATIE	23,9a	6,2a	11,6a	0,8a	3,5a	40,7a	47,0a	39,3a	53,7a	23,7a
Katira	26,5a	5,9a	10,4a	1,4a	3,2a	33,7a	59,7b	43,0a	61,7a	23,3a
Restos de la mazorca										
CATIE	13,8a	2,0a	44,1a	3,4a	4,0a	20,0a	68,7a	172,7a	62,7a	41,0a
Katira	11,3a	1,7a	30,4b	4,6a	3,2b	14,3a	54,3a	234,3a	39,3a	28,3a

Table 8. Nutrient extraction per of dry seeds in ICS-95, CATIE-4 y CATIE-R6 clones, in two locations (CATIE and Katira, Costa Rica), in different parts of cocoa cob (seed and cocoa cob remains). October 2014.
 * Unidades. kg/ha: N, P, K, Ca y Mg; g/ha: Cu, Zn, Mn, Fe y B/Units. kg/ha: N, P, K, Ca and Mg; g/ha: Cu, Zn, Mn, Fe and B.
 ** Medias con letra común entre localidades no son significativamente diferentes ($p>0,05$) / Means with common letter between localities are not significantly different ($p>0,05$).

En cuanto a los microelementos, en muy pocos de ellos hubo diferencias significativas por efecto de la localidad (Cuadros 7 y 8). Quizás la razón de que en la localidad del CATIE las extracciones fueron mayores que en Katira, a pesar que en esta última los suelos presentaron fertilidad más alta (Cuadro 1), se debió a que antes de los muestreos en CATIE se había aplicado al suelo fertilizante inorgánico que contenía elementos como N, entre otros deficientes en el suelo como K y Mg, lo que posiblemente permitió la mayor concentración de nutrientes mostrada en la materia seca (Cuadro 3). La capacidad de absorción y utilización de nutrientes está supeditada al material genético y a los niveles nutricionales disponibles en el suelo (Bertsch, 2005; Puentes-Páramo et al., 2014a) y al manejo de entrada de luz (Uribe et al., 1998; Figueroa y Cavero, 2011; Cueva, 2013).

Extracción o remoción de nutrimentos por clon

Las extracciones promedio de nutrientes por la mazorca y por las semillas en cada uno de los clones en estudio se detallan en el Cuadro 9. Esta información muestra que los clones se comportaron similares en la extracción de Mg por las mazorcas, sin embargo, se mostraron diferentes en cuanto a los elementos K, P y Ca; es así como el clon ICS-95 fue el de menor extracción de K, pero mayor extracción en P y Ca, mientras que en el clon IMC-67 fue de los clones de mayor extracción en K y P, pero de los más bajos en remoción de Ca (Figuras 1 y 2). La remoción del N por la mazorca (semillas secas más restos de la mazorca) del clon CATIE-R6 fue diferente significativamente ($p\leq 0,05$) respecto a la remoción de los clones PMCT-58 y CATIE-R4; además, el clon ICS-95 fue inferior significativamente ($p\leq 0,05$) en la extracción de K por mazorca respecto a los clones CC-137, CATIE-R1, IMC-67 y CATIE-R6, pero similar a los clones CATIE-R4 y PMCT-58 (Cuadro 9).

CUADRO 9

Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas con y sin inclusión de los restos de la mazorca en cada uno de siete clones de cacao, promedio en dos localidades de Costa Rica. Octubre, 2014.

	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Clon IMC-67										
Med Maz.	35,9ab*	8,2ab	47,6a	4,2b	7,7a	60,3	118,5	211,5	169,8	64,3
Med Sem.	23,40	6,37	10,83	0,89	3,89	42,5	57,2	41,2	67,0	29,0
Clon PMCT-58										
Med Maz.	33,4b	7,6ab	46ab	4,4b	7,3a	61,0	116,2	228,7	99,8	61,9
Med Sem.	23,69	5,47	10,10	1,02	3,60	42,5	52,7	40,2	54,8	29,1
Clon CC-137										
Med Maz.	34,9ab	7,3b	50,6a	5,3c	6,8a	65,8	118,0	261,3	135,0	76,5
Med Sem.	23,75	5,60	11,62	1,32	3,45	45,7	48,7	52,3	62,3	39,3
Clon ICS-95										
Med Maz.	35,6ab	8,4a	40,3b	6,7a	7,4a	52,8	110,2	281,2	89,2	62,3
Med Sem.	23,50	6,12	10,88	1,92	3,65	36,2	42,5	50,8	55,3	28,7
Clon CATIE-R1										
Med Maz.	34,6ab	8,3ab	49,6a	4,4b	7,7a	59,0	119,7	270,7	84,7	57,7
Med Sem.	22,73	6,13	10,57	1,00	3,73	38,0	48,7	46,7	47,0	26,3
Clon CATIE-R4										
Med Maz.	33,9b	7,8ab	46ab	6,5ac	7,3a	54,2	112,2	225,2	108,0	50,5
Med Sem.	22,50	6,17	11,07	1,62	3,42	39,3	54,7	36,8	64,0	20,0
Clon CATIE-R6										
Med Maz.	37,8a	7,9ab	48,2a	5,1c	7,0a	54,3	114,8	244,7	108,7	58,7
Med Sem.	25,22	6,05	10,99	1,12	3,35	37,2	53,3	41,2	62,2	23,5

Table 9. Average nutrient extraction (ton dry seeds) in seven clones in two locations (CATIE and Katira, Costa Rica), with and without inclusion of the cob remains. October 2014.
 * Medias con letra común entre clones no son significativamente diferentes ($p>0,05$) / Means with common letter between clones are not significantly different ($p>0,05$).

Med Maz.: peso promedio de mazorcas de dos localidades, Med Sem.: peso promedio de semillas de dos localidades / Med Maz.: average weight of cobs two locations, Med Sem.: average weight of seeds two locations.

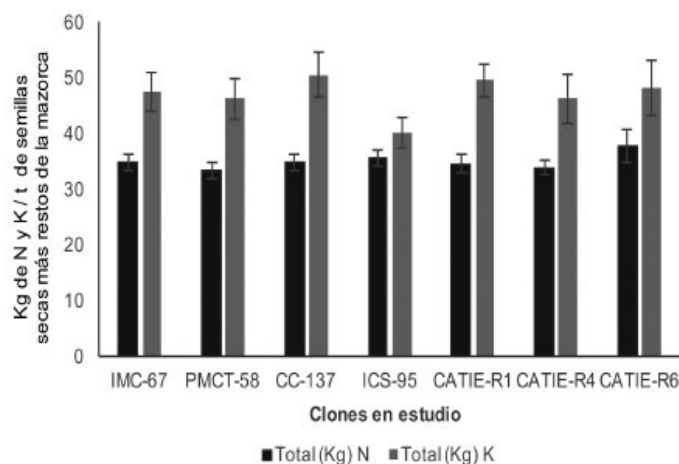


FIGURA 1

Extracción total de nitrógeno y potasio por tonelada de semillas secas y los restos de la mazorca en siete clones de cacao en dos localidades de Costa Rica. Octubre, 2014.

Figure 1. Total extraction of nitrogen and potassium (ton dry seeds and cocoa cob remains) in seven cocoa clones in two locations (CATIE and Katira), Costa Rica. October, 2014.

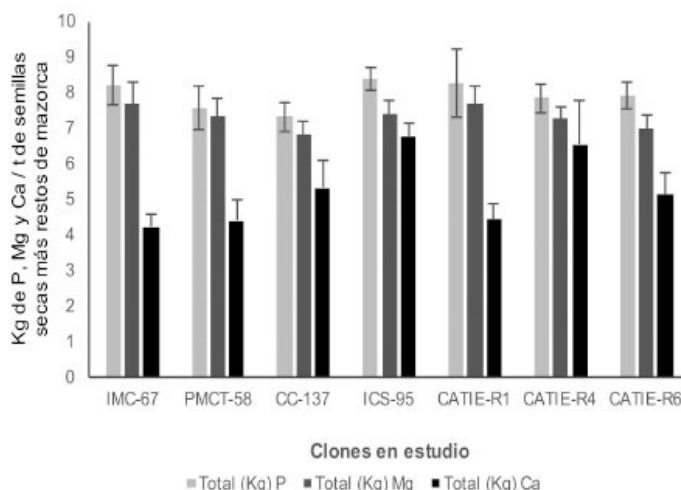


FIGURA 2

Extracción total de fósforo, calcio y magnesio por tonelada de semillas secas y los restos de la mazorca en siete clones de cacao en dos localidades de Costa Rica. Octubre, 2014.

Figure 2. Total extraction of phosphorus, calcium and magnesium (ton dry seeds and cocoa cob remains) in seven cocoa clones in two locations (CATIE and Katira), Costa Rica. October, 2014.

La extracción promedio de Mg fue igual estadísticamente entre las mazorcas de todos los clones (Cuadro 9). El clon ICS-95 superó al clon CC-137 en P; por el contrario, respecto a la extracción de Ca por las mazorcas, el clon ICS-95 fue igual estadísticamente que el clon CATIE-R4, y estos dos presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) sobre los clones IMC-67, PMCT-58 y al CATIE-R1.

Combinación de los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 injertados sobre dos patrones diferentes

Para determinar si el patrón tiene influencia en la extracción de nutrimentos por las mazorcas de cacao se analizaron los clones CATIE-R4 (R4) y CATIE-R6 (R6) injertados sobre los patrones UF-613 y IMC-67. El contenido de MS se visualiza en la Figura 3, donde el valor más alto en las semillas y mazorca fue para la combinación CATIE-R4/IMC-67 con 54,94 g y 122,11 g, respectivamente; mientras que en la cáscara

el valor más alto lo obtuvo la combinación CATIE-R6/IMC-67 con 73,37g. Sin embargo, en los análisis estadísticos, las medias de MS no mostraron diferencias ($p>0,05$) en las dos partes de la mazorca, para ninguna de las combinaciones de los clones R4 y R6 injertados en los diferentes patrones.

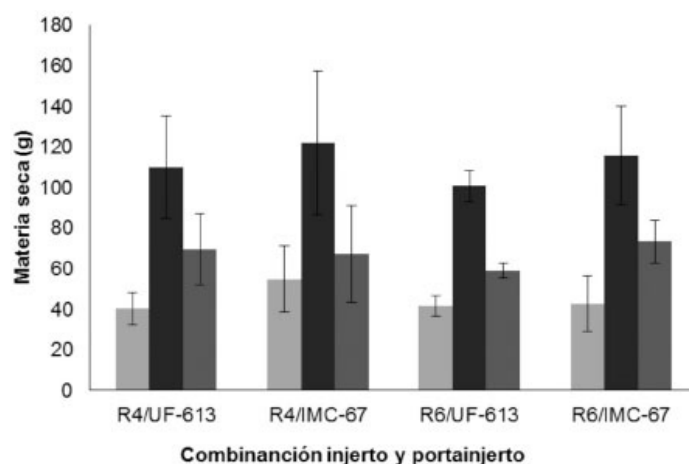


FIGURA 3

Contenido promedio de materia seca en la mazorca y sus partes en los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 injertados en patrones de los clones UF-613 y IMC-67, para determinar su extracción de nutrientes en la localidad de Turrialba. Costa Rica. Octubre, 2014.

Figure 3. Average dry matter content (cob, seeds and shell) in cocoa clones CATIE-R4 and CATIE-R6 grafted on patterns UF-613 and IMC-67, used for nutrient extraction estimation. Turrialba, Costa Rica. October 2014.

Los valores obtenidos del cálculo de la extracción de los nutrimentos por la mazorca no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p>0,05$) entre las combinaciones clon/patrón, excepto en Mn y B, elementos en los cuales R4/UF-613 superó a R4/IMC-67 (Cuadro 10); en la combinación R6/UF-613 la extracción de Zn presentó diferencias significativas ($p\leq 0,05$) respecto a R6/IMC-67, y en Mn R6/IMC-67 fue diferente a R6/UF-613 (Cuadro 11).

CUADRO 10

Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao CATIE-R4 injertado en patrones de los clones UF-613 y IMC-67 respectivamente, en una finca del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Octubre, 2014.

Kilogramos					Gramos				
N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
CATIE-R4/UF-613									
Extracción por las semillas de cacao secas									
22,53	6,43	14,03	0,80	3,33	47,67	51,33	54,00	80,67	48,00
Extracción por los restos de la mazorca									
12,40	1,83	39,53	3,43	3,80	19,33	64,00	189,00	62,33	36,67
Total	34,9a*	8,3a	53,6a	4,2a	7,1a	67,0a	115,3a	243,0a	84,7a

Table 10. Nutrient extraction (ton dry seeds and cocoa cob remains) in CATIE-R4 clon grafted on UF-613 and IMC-67 respectively, in a farm of Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. October 2014.

* Medias con letra común entre clones no son significativamente diferentes ($p>0,05$) / Means with common letter between clones are not significantly different ($p>0,05$).

CUADRO 11

Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao CATIE-R6 injertado en UF-613 y IMC-67 respectivamente, en una finca del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Octubre, 2014.

Kilogramos					Gramos				
N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
CATIE-R6/UF-613									
Extracción por las semillas de cacao secas									
22,17	6,57	11,47	1,10	3,43	45,67	54,67	45,00	102,67	23,67
Extracción por los restos de la mazorca									
10,07	1,53	39,27	3,10	3,53	18,00	62,67	165,00	56,67	33,00
Total	32,2a*	8,1a	50,7a	4,2a	6,96a	63,7a	117,3a	210,0b	159,3b
CATIE-R6/IMC-67									
Extracción por las semillas de cacao secas									
23,03	6,70	14,03	0,80	3,80	54,00	49,00	61,33	69,00	24,33
Extracción por los restos de la mazorca									
11,77	1,73	35,20	2,97	3,07	17,00	59,33	187,00	47,33	32,33
Total	34,8a	8,4a	49,2a	3,8a	6,87a	71,0a	108,3b	248,3a	116,3a

Table 11. Nutrient extraction (ton dry seeds and cocoa cob remains) in CATIE-R6 clon grafted on UF-613 and IMC-67 respectively, in a farm of Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. October 2014.

* Medias con letra común entre clones no son significativamente diferentes ($p>0,05$) /

Means with common letter between clones are not significantly different ($p>0,05$).

Por lo anterior, no hubo evidencia que los clones IMC-67 y UF-613 usados como portainjertos (patrones) influyeran en las remociones de la mayoría de nutrimentos por los frutos de los clones CATIE-R4 y CATIE-R6, usados como injertos.

REFERENCIAS

- Barrantes, L., y LL. Foster R. 2010. Cadena productiva de cacao: políticas y acciones. SEPSA, Sector Agropecuario, MAG, San José, CRC.
- Bertsch, F. 2005. Estudios de absorción de nutrimentos como apoyo a las recomendaciones de fertilización. *Informaciones Agronómicas* 57:1-10.
- Canacacao (Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica). 2008. Estadísticas nacionales: cacao de Costa Rica. <http://www.canacacao.org/estadisticas/analisis> (consultado 25 ene. 2011).
- Canacacao (Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica). 2012. Estadísticas nacionales: cacao de Costa Rica. <http://www.canacacao.org/estadisticas/analisis> (consultado 27 ene. 2013).
- Canacacao (Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica). 2014. Noticias: cacao de Costa Rica. <http://www.canacacao.org/noticias> (consultado 13 may. 2015).
- Castellano, J. 2007. El cacao, un cultivo tradicional de exportación. <http://laeducacionagricola.blogspot.com/2008/12/el-cacao-un-cultivo-tradicional-de.html>. (consultado 6 ene. 2011).
- Cueva, A. 2013. Cacao. Sombreamiento, agroforestería, nutrición, fertilización, fisiología. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, PER.
- Espinosa, J., F. Mite, S. Cedeño, S. Barriga, y J. Andino. 2006. Manejo por sitio específico de cacao basado en sistemas de información geográfica. *Informaciones Agronómicas* 60:10-14.
- Figuroa, O.L., y J. Cavero R. 2011. Fertilización y post cosecha de cacao. Universidad Nacional Agraria la Molina, Tarapoto, PER.
- INPOFOS (Instituto de la Potasa y el Fósforo). 2000. La interacción del fósforo y otros nutrimentos. [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/00A93483F9734BB906256ABF00572EAA/\\$file/La+interacción+del+Fósfor+y++otros+nutrientes.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/00A93483F9734BB906256ABF00572EAA/$file/La+interacción+del+Fósfor+y++otros+nutrientes.pdf) (consultado 9 nov. 2016).

- López, M., I. López, M. España, A. Izquierdo, y L. Herrera. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agronomía Trop.* 57(1):31-43.
- López, O., S.I. Ramírez, S. Espinosa, J.L. Moreno, C. Ruiz, J.M. Villarreal, y L. Ruiz. 2015. Manejo agroecológico de la nutrición en el cultivo del cacao. Universidad Autónoma de Chiapas, MEX.
- Phillips, W., A. Arciniegas L., A. Mata Q., y J.C. Motamayor A. 2012. Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembras comerciales. CATIE, Turrialba, CRC.
- Paredes-Arce, M. 2003. Manual del cultivo de cacao. Ministerio de Agricultura, PER.
- Puentes-Páramo, Y.J., J.C. Menjivar-Flores, y F. Aranzazu-Hernández. 2014a. Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Bioagro* 26:99-106.
- Puentes-Páramo, Y.J., J.C. Menjivar-Flores, A. Gómez-Carabali, y F. Aranzazu-Hernández. 2014b. Absorción y distribución de nutrientes en clones de cacao y sus efectos en el rendimiento. *Acta Agron.* 63:145-152. doi:10.15446/acag.v63n2.40041
- Rojas, F., y E.J. Sacristán-Sánchez. 2013. Guía ambiental para el cultivo de cacao. MinAgricultura (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural) y FEDECACAO (Federación Nacional de Cacaoteros), COL.
- Ruales, J.L., H. Burbano, y W. Ballesteros. 2011. Efecto de la fertilización con diversas fuentes sobre el rendimiento de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Rev. Cienc. Agríc.* 28(2):81-94.
- Salvador, N., E. Espinosa, y J.C. Rojas. 2012. Manual del cultivo de cacao blanco de Piura. Mesa técnica regional de cacao de Piura. Dirección Regional Agraria Piura, PER. <http://www.swisscontact.org.pe/biblioteca-virtual> (consultado 10 ene. 2016).
- Sánchez, L.E., D. Parra, E. Gamboa, y J. Rincón. 2005. Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Bioagro* 17:119-122.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2010. Superficie y producción agrícola. Boletín estadístico agropecuario 20: serie cronológica 2006-2009. Ministerio de Agricultura, San José, CRC. p. 19-34.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2012. Boletín estadístico agropecuario 22: serie cronológica 2008-2011. Ministerio de Agricultura, San José, CRC.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2014. Boletín estadístico agropecuario 24: serie cronológica 2010-2013. Ministerio de Agricultura, San José, CRC.
- Uribe, A., H. Méndez, y J. Mantilla. 1998. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en la producción de cacao en el Departamento de Santander, Colombia. *Rev. Suelos Ecu.* 28:31-36.
- Valle, C., y J. Proaño. 2006. Determinación de la curva de absorción de nutrientes en el cultivo de cacao fino de aroma bajo riego localizado y su influencia en la salinidad del suelo, Comuna de Azúcar, Península de Santa Elena, Provincia del Guayas. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1> (consultado 6 mar. 2016).
- World Cacao Foundation. 2013. Genetic resources and cacao flavor: putting farmers and consumers first. http://www.worldcocoaoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/1383315566DAY1cocoageneticresources.pdf (consultado 8 jun. 2016).

NOTAS

- 1 Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación financiado por la Vicerrectoría de Investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), San Carlos, Costa Rica.