

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN, DIRECCIÓN DE PROYECTOS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

INFORME FINAL

Código del proyecto: 5402-1801-0489

**EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES ESENCIALES EN FRUTOS DE CLONES DE CACAO
EN PRODUCCIÓN EN DOS REGIONES EN COSTA RICA**

Elaborado por:

Ing. Agr. Parménides Furcal Beriguete, M.Sc.
Coordinador

Mayo del 2015

Tabla de contenido

1	Introducción.....	1
2	Marco teórico	3
2.1	Factores importantes para la plantación cacao y la remoción de nutrientes por la mazorca.....	3
2.2	Remoción de nutrimentos por la producción de cacao.....	3
2.3	Comportamiento de los materiales genéticos en cuanto rendimiento y otras variables.....	4
3	Materiales y métodos	5
3.1	Localización.....	5
3.2	Manejo del cultivo y material genético	5
3.3	Cosecha de los frutos y análisis químicos	5
3.4	Análisis de los datos obtenidos.....	6
4	Resultados y discusión.....	7
4.1	Materia seca.....	7
4.2	Concentración de nutrimentos	10
4.3	Extracción o remoción de nutrimentos	10
	4.3.1 Extracción general y por zona	10
	4.3.2 Extracción por las partes de la mazorca	11
	4.3.3 Extracción o remoción de nutrimentos por clon	12
4.4	Combinación de los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 injertados sobre dos patrones diferentes.....	14
5	Conclusiones y recomendaciones	16
6	Bibliografía	18
7	Anexos	20

Índice de cuadros

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelos hechos antes del muestreo en ambas localidades. Marzo del 2014.....	5
Cuadro 2. Contenido de materia seca por mazorca de cacao y semillas de cada uno de los clones en estudio. Fincas del CATIE y de Katira. Octubre de 2014.	8
Cuadro 3. Concentración promedio de nutrimentos en semillas secas y en los restos de la mazorca de siete clones de cacao en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.....	10
Cuadro 4. Extracción total de nutrimentos por una tonelada de semillas secas incluyendo los restos de la mazorca (cáscara y placenta) de siete clones de cacao en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.	11
Cuadro 5. Extracción promedio de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca de siete clones de cacao en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.....	12
Cuadro 6. Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas incluyendo los restos de la mazorca en cada uno de siete clones de cacao en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.	14
Cuadro 7. Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao CATIE-R4 injertado en UF-613 y IMC-67 (CATIE-R4/UF-613, CATIE-R4/IMC-67) respectivamente, en la zona del CATIE, Turrialba, Costa Rica. Octubre de 2014.	15
Cuadro 8. 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 (CATIE-R6/UF-613, CATIE-R6/IMC-67) respectivamente, en la zona del CATIE, Turrialba, Costa Rica.....	16
Cuadro 9. Anexo 1. Concentración de nutrimentos en las semillas secas y en los restos de la mazorca de siete clones plantados en dos zonas de Costa Rica. Octubre del 2014.....	20
Cuadro 10. Anexo 2. Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca de siete clones plantados en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.....	22

Índice de figuras

Figura 1. Contenido de materia seca en las semillas, los restos de la mazorca y la mazorca en la zona del CATIE, Turrialba. Octubre del 2014.....	9
Figura 2. Contenido de materia seca en las semillas, los restos de la mazorca y la mazorca en la zona de Katira, Guatuso. Octubre del 2014.	9
Figura 3. Extracción total de nitrógeno y potasio por tonelada de semillas secas y los restos de la mazorca en siete clones de cacao. Costa Rica, octubre de 2014....	12
Figura 4. Extracción total de fósforo, calcio y magnesio por tonelada de semillas secas y los restos de la mazorca en siete clones de cacao. Costa Rica, octubre de 2014	13
Figura 5. Contenido promedio de materia seca de la mazorca y sus partes en los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 injertados en patrones de los clones UF-613 y IMC-67	15

Resumen

Costa Rica tradicionalmente ha sido un país productor de cacao fino y aromático, actividad asociada mayormente a pequeños agricultores; pero en 1978 la aparición de la enfermedad moniliasis afectó significativamente a los frutos de cacao, lo cual, junto con la distribución de materiales genéticos de calidad deficiente, el inadecuado manejo agronómico y post-cosecha del cultivo, ocasionaron la merma en el área de siembra y de la producción; en contraste con la demanda de este producto en años recientes en el mercado nacional e internacional. Durante los últimos 18 años, el Programa de Mejoramiento Genético de Cacao del CATIE en Costa Rica, a través de ensayos de mejoramiento genético, ha seleccionado materiales tolerantes a esta enfermedad, conjugando a su vez altos rendimientos. En las regiones del país productoras de cacao y en áreas del resto de Centroamérica, estos materiales se establecieron desde hace al menos siete años con muy buenas expectativas. No obstante, en el manejo del cultivo se continúa utilizando algunas de las técnicas tradicionales aplicadas a las variedades e híbridos antiguos, como la fertilización y nutrición mineral, que a nuestro juicio, que coincide con el de los miembros del Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología (PITTA) de cacao, deberían ser adaptadas a los nuevos materiales de altos rendimientos. Bajo este contexto y la política de investigación del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) se realizó el presente trabajo con el objetivo de analizar la extracción de elementos esenciales en frutos de los clones de cacao en expansión comercial en la región de Centroamérica. Los resultados muestran que una tonelada (1 000 kg) de semillas secas, incluyendo la corteza del fruto, de estos clones extraen entre 33,45 a 37,79 kg de N/t, entre 40,35 y 50,64 kg de potasio (K)/t, y fósforo en un rango de 7,33 a 8,37 kg de P/t. La información contenida en este informe sirve de partida para futuras investigaciones en el área de fertilización y nutrición del cacao, así como para la elaboración de planes de fertilización en los sistemas de producción comercial de cacao.

Palabras claves: Fertilización de cacao, nutrición de cultivo, semillas de cacao, clones de cacao, remoción de nutrimentos.

Abstract

Costa Rica has traditionally been a producer of fine and aromatic cocoa, activity associated mainly to small farmers, but in 1978 the appearance of moniliasis disease significantly affected the cacao fruits, which, along with the distribution of genetic materials of poor quality, inadequate agronomic management and postharvest of the crop, they caused the decrease in the area planted and production, in contrast to the demand for this product in recent years in the national and international market. During the past 18 years the Program of Genetic Improvement of Cacao of the CATIE in Costa Rica, through improvement genetic tests, has selected tolerant material to this disease, conjugating as well with high yields. In the producing countries and in the areas of the rest of Central America, these materials were established for at least seven years with very good expectations. However, in the management of the crop it is continued using some of the traditional techniques applied to old varieties and hybrids, as well in the fertilization and mineral nutrition, that in our opinion, that agrees with the one of members of the Research Program and Transfer of Technology (PITTA) of cacao, would have to be adapted to the new high yields materials. Under this context and the research policy of the Costa Rica Institute of Technology (ITCR) is presented this proposal with the objective to analyze the extraction of essential elements in fruits of the cocoa clones in commercial expansion in the Central American region. The results show that one ton (1 000 kg) of dry seeds, including the crust of the fruit, of these clones extracts between 33.45 to 37.79 kg of N/t, between 40.35 and 50.64 kg of potassium (K)/t, and phosphorus in a rank of 7.33 to 8.37 kg of P/t. The information contained in this study is going to be used in future investigations in the area of cacao fertilization and nutrition, as well as for the elaboration of plans of fertilization in the commercial production system of cacao.

Key words:

Cocoa fertilization, crop nutrition, cocoa seeds, cocoa clones, nutrients removal.

1 Introducción

La producción de cacao en el país se concentra en pequeños productores, registrándose alrededor de 2229 productores (Barrantes y Foster 2010). Centrándose la producción de cacao fundamentalmente en las regiones Atlántica, especialmente en Talamanca y Limón, y Huetar Norte en Upala y Guatuso (Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica, Canacacao 2012).

A partir de 1978, las plantaciones de cacao a nivel nacional y en otros países de la región fueron afectadas de manera severa por la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), además se suscitaron otros problemas como distribución de materiales genéticos de mala calidad, provenientes probablemente de semillas comunes o cruces interclonales (Canacacao 2008). En 1995 en el país habían sembrada unas 12000 ha, con producción de unas 10000 t de cacao, a partir de ese año bajó la superficie sembrada hasta llegar a unas 3 819 ha con producción estimada de 700 t en el 2006. A pesar de lo anterior, se resalta las acciones impulsadas por el gobierno, que vía decreto se creó en marzo de 2006 el Programa Nacional Sectorial de Cacao con la meta de incrementar en cinco años en 3000 ha el área total de este cultivo en el país y a las acciones de otras entidades como el CATIE en la generación de material mejorado genéticamente con tolerancia a moniliasis (Canacacao 2008) y a la presencia de la Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica (Canacacao), creada en noviembre de 2007 con la participación de todos los sectores involucrados en el sector cacaotero; con el objetivo de recobrar el reconocimiento de Costa Rica como productor tradicional de cacao y como proveedor de cacao de alta calidad en el mercado internacional y además con estándares ambientales y sociales responsables. En el 2007, inicia un ascenso en el área de cacao, año en el que se registraron unas 4 484 ha sembradas (SEPSA 2010), con ascenso tímido 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.

Años atrás predominaban materiales de semilla comunes así como de cruces interclonales; en la actualidad en la producción de cacao se ha popularizado el uso de clones, por su estabilidad productiva y otras características agronómicas importantes. Hace alrededor de siete años se inició por parte del CATIE la liberación de seis clones en Costa Rica y los demás países de Centroamérica, pero todavía tienen una distribución limitada porque el primer paso fue sido el establecimiento de jardines clonales que necesitan madurar. Los jardines más viejos se establecieron en Talamanca, en donde estos clones han mostrado un comportamiento productivo con muy buenas expectativas. Además de la productividad, otro aporte muy importante de estos clones, es que son tolerantes a moniliasis y con resultados de calidad muy buenos, según análisis internacionales. Esta alternativa tecnológica y otras sirven, en la actualidad, 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. En la actualidad se dispone de material genético con alto potencial productivo con capacidad de rendimiento superior a los 1500 kg de granos seco/ha/año y tolerancia a la moniliasis (Phillips *et al* 2012, Castellano 2007).

De acuerdo a variables de las hojas de balance de alimentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Canacacao (2008), se verificó que la producción local no es suficiente para satisfacer las necesidades de materias primas de la industria nacional de transformación del cacao. Esto se debe a la internacionalización de la industria del cacao, que en ocasiones se exporta más que lo que se produce en Costa Rica, exportación que no necesariamente es cacao producido

en el país. Por su calidad y forma de producción, la mayoría del cacao nacional es orientado a la exportación, gran proporción bajo la modalidad de producción orgánica. La demanda de cacao en el mercado es alta y a su vez se puede implementar los sistemas de asocio agroforestal, asocio con cultivos como plátano, banano, yuca o papaya que sirven de sombra temporal en las etapas iniciales del cacao y al mismo tiempo disponer de ingresos a partir del primer año; a largo plazo las especies forestales fungen como sombra permanente y como fuente maderable, siendo estos sistemas catalogados como amigables con el ambiente.

Existen factores básicos para la competitividad en Costa Rica, por condiciones climáticas, ubicación geográfica, mercado amplio para el cacao fino y aromático que produce el país. En la actualidad hay un déficit de unas 115000 t de cacao por la creciente demanda en Asia que podría agravarse en este año (Canacao 2014). En Centroamérica, Costa Rica es el único país reconocido como productor internacional de cacao fino y aromático otorgado por el Organismo Internacional del Cacao (ICCO) (Barrantes y Foster 2010). Estas alternativas abren las puertas para perpetuar nuevamente el cultivo del cacao en el país, pero se debe hacer estudios sobre el manejo general de esos nuevos clones en producción en el país, pues existe rezago en cuanto a mercado internacional, manejo pos-cosecha, manejo agronómico, dentro de este último, la fertilización y la nutrición mineral es nula en estos nuevos clones. Es así como a partir de junio del 2012 hasta 2014 a través de Programa de Investigación y Transferencia de Tecnología en Cacao (PITTA Cacao) se dirigieron esfuerzos en un Plan Estratégico de la Cadena Productiva de Cacao, con propuesta en febrero 2012 para trabajar en proyectos de investigación en cacao a partir de 2013, tales como mercadeo, determinación de Cadmio y fertilización, entre otros temas.

Basado en el contexto anterior, en reunión suscitada a mediado de marzo de 2013 en el INTA-MAG, se acordó determinar primero la extracción o remoción de nutrimentos por los frutos de cacao de los nuevos clones y a partir de esos datos diseñar un proyecto de fertilización orgánica e inorgánica y nutrición en cacao, con la idea que al iniciar ese trabajo los clones ya están más desarrollados. En tal sentido para el 2014, la Fundación para el Fomento y Promoción de la Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (FITTACORI) financió los estudios de extracción de nutrimentos por parte de las mazorcas de los clones en la zona Limón bajo la responsabilidad de la Coordinación de PITTA Cacao, mientras que para la zona de Upala y CATIE fue asumida por la Escuela de Agronomía del ITCR y financiada por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de esta institución de enseñanza superior.

2 Marco teórico

2.1 Factores importantes para la plantación cacao y la remoción de nutrientes por la mazorca

Al seleccionar la zona para la producción de cacao, en primer lugar, se debe considerar los factores geográficos, principalmente la latitud, altitud y relieve, dado que los dos primeros determinan en gran medida la temperatura y las lluvias del lugar, variables climáticas que están estrechamente relacionadas con el crecimiento, la floración, la producción y llenado de frutos. Por el contrario, PROAMAZONA (2004), considera la altitud como un factor secundario, en la producción de cacao. Otra variable climática que influye directamente en la producción de cacao es la luminosidad, pero esta puede ser controlada dentro del cacaotal. El segundo factor que debe considerarse es el suelo en cuanto a sus características físicas y químicas y al manejo que se dio previo a la plantación de cacao (Hardy 1961). En conclusión el éxito en rendimiento y longevidad de un cacaotal está supeditado a estas variables, sin dejar de lado el manejo del cultivo (Hardy 1960, PROAMAZONA 2004).

El cacao es un cultivo con altos dividendos cuando se siembra en suelos de fertilidad alta, respecto a la siembra en suelos de fertilidad baja Uribe *et al.* (1998), IPNI (2007). Bajo esta consideración, es de esperar que este cultivo presente buena respuesta en crecimiento y rendimiento a la aplicación de fertilizantes, según condiciones imperantes y el manejo de la plantación.

2.2 Remoción de nutrimentos por la producción de cacao

La cantidad de nutrimentos removidos por un cultivo dependerá del estado nutricional de la plantación (Monsalve 2010). Además menciona, igual que el IPNI (2007), que la remoción de nutrimentos de una producción de 1000 kg de cacao, en promedio es de: 40 Kg de potasio (K) como (K_2O), 30 Kg de nitrógeno (N), 13 Kg de calcio (Ca) como (CaO), 10 Kg de magnesio (Mg) como (MgO) y 8 Kg de fósforo (P) como (P_2O_5). Del mismo modo, PROAMAZONIA (2004), indica que una cosecha de semillas de cacao seca de 1000 Kg extrae aproximadamente 77 kg de K_2O , 44 Kg de N y 10 Kg P_2O_5 , también menciona que si la cáscara 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.

En ese mismo orden, Mejía (2000), mencionado por Sánchez *et al.* (2005), publica que los requerimientos de nutrientes del cultivo de cacao para producir una cosecha de 1000 kg de semillas secas es de 64,8 a 103 kg de K_2O , 31 a 40 kg de N, 11,5 a 13,75 kg de P_2O_5 , 7 a 11,2 kg de CaO y 8,3 a 11,6 kg de MgO. Hardy (1961), difiere en parte de los datos reportados anteriormente, indica que esa producción de almendras secas, con una densidad de 724 árboles/ha extrae del suelo 24 kg de K_2O , 24 kg de N y 14 kg de P_2O_5 ; además reporta que la cáscara de esta producción extrae 26,5 kg de K_2O , 10 kg de N y 2 kg de P_2O_5 , pero que al incluir la cáscara se debe considerar que el peso de esta va a diferir mucho respecto al material genético. De la misma forma, el IPNI (2007) y Hardy (1961), mencionan que al retirarse de la finca en producción la cáscara del cacao, la cual es rica en K_2O , debe tomarse en cuenta al momento de diseñar investigaciones o bien programar la fertilización en plantaciones de cacao.

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 fecha se estabiliza, manteniendo esa tasa de absorción por el resto del ciclo del cultivo (IPNI 2007).

El nivel de luz que llega a la plantación de cacao es otro factor que debe considerarse al momento de establecer un programa de fertilización, puesto que tiene un efecto directo en el rendimiento del cultivo y en la demanda nutricional. Bajo una cobertura abundante de sombra en un cacaotal, donde llega bajo nivel de luz, el rendimiento del cultivo es bajo. Por el contrario, con un alto nivel de luz donde predomina poca o ninguna cobertura de árboles de sombra, los rendimientos de cacao son mucho más altos y a su vez las respuestas a la fertilización son evidentes por una mayor demanda nutricional (Hardy 1961, IPNI 2007). En ese sentido, a medida que se aumenta 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 (IPNI 2007).

2.3 Comportamiento de los materiales genéticos en cuanto rendimiento y otras variables.

Las evaluaciones hechas por el CATIE a los clones obtenidos por esa institución, materiales en los cuales se hizo el estudio de remoción de nutrimentos, permitieron establecer características morfológicas y comportamiento de variables agronómicas que identifican su potencial. Dentro de estas se encuentra el peso del fruto y de las semillas lo que permite establecer la relación semillas y restos del fruto.

El peso promedio del fruto para los clones usados en el trabajo de remoción de nutrientes, en su orden respectivo, son los siguientes: 589.7, 573.7, 566.1, 556.7, 461.6 y 441.1 g para los clones ICS-95 T1, CATIE-R4, CATIE-R6, CATIE-R1, CC-137 y PMCT-58; en ese mismo orden el peso promedio fresco de las semillas por fruto en gramos es 102, 144.7, 127.2, 93.4, 117.3 y 93.1 (Phillips *et al* 2012). El clon ICS-95 T1 a pesar de tener el fruto más pesado ocupa el cuarto lugar en cuanto a peso de semillas, mientras que el CC-137 que es el penúltimo en peso de fruto de los seis clones, en cuanto a peso de semillas es el tercero, los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 mantienen una proporción alta en cuanto peso de fruto y de semillas; estos valores evidencian que no necesariamente el fruto más pesado será el que arroje el mayor peso de semillas.

Para el índice de frutos, que corresponde al número de frutos necesarios para obtener un kilogramo de cacao fermentado y seco, se necesitan al menos 20 frutos, debido a que este índice está influenciado por factores genéticos, ambientales, fertilidad de suelos, la edad de la planta y la posición de este en el árbol (Phillips *et al* 2012). Este índice fue muy bueno para el clon CATIE-R4 con 18 frutos, en cambio muy alto para el CATIE-R1 con un valor de 29. En tanto los valores son intermedios, entre 22 y 24 frutos para los demás clones. El índice de semilla presentado fue muy bueno, este se obtiene del peso promedio en gramos de 100 semillas fermentadas y secas tomadas al azar, el mínimo requerido por la industria es 1 g/semilla. Los clones CATIE registran valores entre 1,3 y 1,5 g y el CC-137 muy alto con 1,7g/semilla (Phillips *et al* 2012). El clon universal UF-613 de origen trinitario es de buena producción con índice de semillas o granos de 1,58 g y un índice de mazorca o fruto de 19, del mismo modo el clon universal IMC-67 originado en Perú tiene un índice de semillas de 1,28 g y de mazorca de 20 g.

Otro índice muy importante es el de eficiencia de rendimiento, siendo mejor aquel valor que sea más alto, se obtiene al relacionar la producción y el vigor del tallo del árbol. De los seis clones seleccionados por el CATIE como los mejores después de 11 años de evaluación, el CATIE-R6 es el que presentó el mejor índice (5,34) y una producción de 1485 kg/ha/año, en los últimos cinco años la producción promedio es de 2363 kg/ha/año (Phillips *et al* 2012). Este índice correlaciona positiva y significativamente con el vigor y la producción del árbol. El tronco se mide a 30 cm desde la superficie del suelo, el promedio

de la producción de varios años se divide entre el promedio del diámetro al cuadrado (Phillips *et al* 2012).

3 Materiales y métodos

3.1 Localización

Las mazorcas de cacao se cosecharon en dos localidades, una localizada en la provincia de Alajuela, cantón de Guatuso, distrito de Katira, en la finca propiedad del señor Edwin Sibaja en las coordenadas 10° 43' 46.75" N y 84° 55' 35.56" O a una altura de 220 msnm; y la otra en la provincia de Cartago, cantón de Turrialba, específicamente en la finca ubicada a 9° 52' 32.74" N y 83° 39' 17.29" O a una altura de 597 msnm propiedad del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Ambas localidades presentan lluvia anual sobre los 3 000 mm, con suelos de fertilidad baja en el CATIE y alto contenido de potasio en Katira, los resultados de los análisis de suelos se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados de análisis de suelos hechos antes del muestreo en ambas localidades. Marzo del 2014.

Lote	pH	cmol(+)/L					mg/L					%	
		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	23	Franco arcillosa
Katira	11	70	19	Arcillosa

MO: materia orgánica. S. Acidez: porcentaje saturación de acidez.

3.2 Manejo del cultivo y material genético

Las siembras de cacao donde se cosecharon los frutos fueron conducidas por sus respectivos propietarios en cuanto a poda, fertilización, control de sombra, plagas y enfermedades. El plantío del CATIE había sido fertilizado el año anterior a la cosecha, mientras que en Katira nunca se ha fertilizado después de la siembra, los árboles en ambas localidades en el año de muestreo contaban con siete años de edad. En ambas fincas no hay control químico de plagas ni enfermedad, sin embargo, se hacen las podas necesarias y eliminación de mazorcas enfermas, del mismo modo en ambas fincas existen árboles forestales como sobra en forma parcial.

Los frutos se cosecharon al azar de árboles de siete clones trinitarios, cinco de ellos cuyo origen es CATIE, Costa Rica, estos son: 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, estos clones seleccionados fueron distribuidos por Centroamérica por el CATIE a partir del 2007, con el propósito de evaluar el comportamiento y su vez la reproducción. Como en uno de los plantíos de los clones establecidos en el CATIE se tiene identificado los patrones sobre los cuales se encuentran injertados, los frutos en este lote se cosecharon por separado en cada uno de los clones CATIE–R4, CATIE–R6 injertados en patrones de los clones universales IMC-67 y UF 613.

3.3 Cosecha de los frutos y análisis químicos

En el país se han identificado dos picos de cosecha de cacao, marzo a mayo y de octubre a diciembre, razón por la cual la recolección de los frutos para el análisis se hizo en esos dos períodos; en el CATIE la recolección se hizo mayormente en el primer pico de cosecha, mientras que en Katira tanto en el primero como en el segundo semestre. Las mazorcas o frutos se tomaron al azar, los que se encontraran maduros en cada cosecha, de los árboles identificados como correspondientes a su respectivo clon. El clon CATIE-R1 no existe en la parcela de la localidad de Katira, por lo que no se incluyeron frutos de este clon para el análisis.

En los árboles de cada clon se cosecharon frutos maduros hasta completar nueve, estos se enumeraron según el orden de cosecha, hasta llegar a nueve, luego se formaron tres grupos (1 a 3, 4 a 6 y 7 a 9), cada grupo se identificó con un número del 1 al 3 y el nombre de identificación del clon. Las tres mazorcas se abrieron, procediendo a separar las semillas de la placenta, luego se mezclaron las semillas de las tres mazorcas y el resto de las mazorcas por aparte, el resto de la mazorca correspondió a la cáscara o coraza más la placenta. Finalizada la mezcla de las partes de las mazorcas se picaron las cáscaras, se pesaron para registrar el peso fresco promedio de semillas y resto de la mazorca procedente de la mezcla de tres frutos. Luego el total de las muestras se introdujeron en un horno con corriente de aire forzado para secado de tejido vegetal; permanecieron en el horno durante 96 horas a 60°C y se pesaron de nuevo, obteniéndose así la materia seca de las semillas y el resto de la mazorca utilizada para el cálculo de la extracción de nutrimentos.

Del material seco, cáscara y semillas, se tomó una muestra por separado para los análisis químicos respectivos, donde después de la digestión húmeda con ácido nítrico concentrado se determinó el contenido de Ca, Mg y K con cloruro de lantano al 1% y posterior lectura en Espectrofotómetro de Absorción Atómica, mientras que el Fe, Mn, Cu y Zn se leyeron directamente del filtrado en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, el B se obtuvo con azometina-H mientras que para la obtención del P la muestra se trató con molibdato de amonio y leído igual que el B 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 1 000 kg de semillas de cacao seco y su correspondiente resto de la mazorca.

3.4 Análisis de los datos obtenidos

La extracción de los elementos nutritivos se determinó tanto en semillas como en cáscara con el propósito de relacionar lo extraído por cada parte del fruto y ser utilizado en el diseño de programas de fertilización comercial y de futuras investigaciones en cacao, partiendo que hay fincas productivas de cacao donde las cáscaras son devueltas al sistema de producción y en otras son desechadas fuera del sembradío.

Los datos se analizaron a través de un diseño completamente randomizado con 5% de probabilidad, donde la mezcla de tres mazorcas fungió como una repetición por clon, para un total de tres repeticiones en cada zona. En el caso del CATIE, además se agregaron cuatro tratamientos, los cuales correspondieron a los clones CATIE-4 y CATIE-R6 (R4 y R6) injertados en los portainjertos UF-613 y IMC-67, esto con el propósito de observar si el portainjerto influye en la extracción de nutrimentos del suelo. Posterior al análisis de varianza, donde se presentaron diferencias significativas, se hizo un análisis con la prueba de Tukey con el propósito de determinar cuál(es) clon(es) se diferencian de los demás. Además se compararon con contrastes ortogonales, para la zona del CATIE, los

clones R4 injertados en sus respectivos portainjertos, 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.

4 Resultados y discusión

4.1 Materia seca (MS)

El contenido promedio de materia seca es mayor, tanto en las semillas como en el resto de la mazorca en la zona de Katira que en CATIE, Turrialba (Cuadro 2, Figuras 1 y 2). Sin embargo, al relacionar el contenido de MS de semillas respecto al resto de la mazorca (relación semillas: resto de la mazorca) es más alto en el CATIE que en Katira; el valor es de 43,68% de semillas en CATIE respecto al resto de la mazorca y de 40,49% 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. Los clones IMC-67 (procedencia extranjera, Perú) y el PMCT-58 (origen CATIE) son los que presentaron las mazorcas más grandes en las dos localidades (Cuadro 2), encontrándose mayor MS de semillas en el IMC-67 en Katira, mientras que en CATIE se obtuvo con el CC-137 procedente del CATIE. Quizás el mayor peso de MS de las cáscaras y mazorcas en Katira se debió a que procedían de árboles con mayor vigor 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 cáscara de menor peso.

Datos presentados por Phillips *et al* (2012) manifiestan que el clon PMCT-58 presentó el peso fresco más bajo de frutos de los clones evaluados en el CATIE, 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 por fruto o mazorca. En datos obtenidos por este autor, el clon CC-137 presenta valores buenos en cuanto a peso fresco de semillas, igualmente que un índice de estas muy bueno (1,7 g/semilla), es posible que este sea un indicativo del valor más alto obtenido en este estudio en peso seco de semillas por mazorca procedente del CATIE en este clon (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de materia seca por mazorca de cacao y semillas de cada uno de los clones en estudio. Fincas del CATIE y de Katira. Octubre de 2014.

	Zona					
	CATIE	Katira	CATIE	Katira	CATIE	Katira
Clon	Materia seca (g) y su relación (%)					
	Semillas		Restos de mazorca		Mazorca	
IMC-67	58,66	70,33	98,28	114,54	156,94	184,87
	37,38%	38,04%	62,62%	61,96%	100%	100%
PMCT-58	55,54	60,05	98,28	114,54	153,82	174,87
	47,92%	38,65%	62,62	61,96%	100%	100%
CC-137	61,63	65,54	51,81	80,22	113,44	145,76
	54,33%	44,96%	45,67%	55,03%	100%	100%
ICS-95	45,07	57,52	53,17	102,21	98,24	159,73
	45,88%	36,01%	54,12%	63,99%	100%	100%
CATIE-R1	47,02		53,01		100,04	
	47,01%		52,99%		100%	
CATIE-R4	43,31	65,39	49,31	84,29	92,63	149,68
	46,76%	43,69%	53,24%	56,31%	100%	100%
CATIE-R6	44,09	56,60	54,52	75,28	98,60	131,87
	44,71%	42,92%	55,29%	57,08%	100%	100%
R4/UF- 613	40,42		69,55		109,97	
	36,76%		63,25%		100%	
R4/IMC-67	54,94		67,18		122,11	
	44,99%		55,01%		100%	
R6/UF-613	41,70		59,12		100,82	
	41,36%		58,64%		100%	
R6/IMC-67	42,63		73,37		115,99	
	36,75%		63,25%		100%	
Promedio	48,64	62,57	62,70	91,98	111,33	154,55
	43,68%	40,49%	56,31%	59,51%	100%	100%

Observación: R4 = CATIE-R4 y R6 = CATIE-6

En las últimas 4 líneas, UF-613 e IMC-67 funcionan como portainjertos

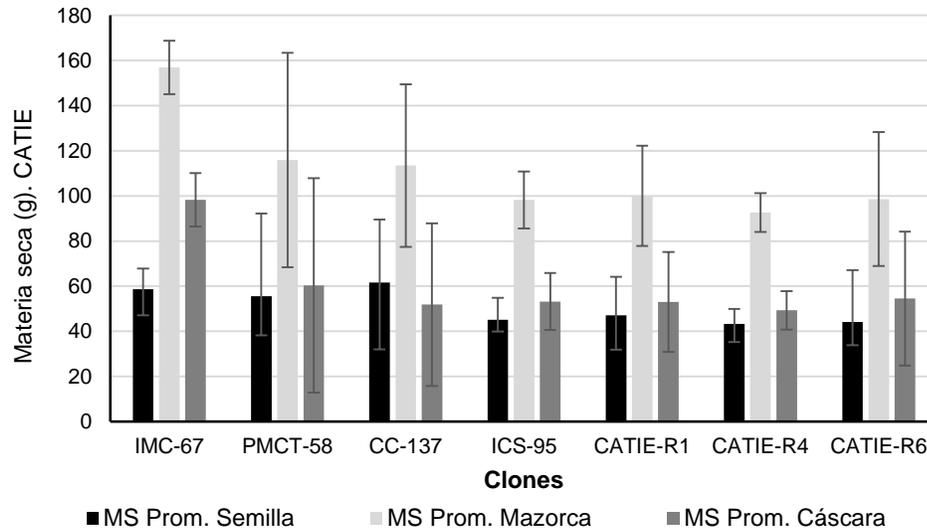


Figura 1. Contenido de materia seca en las semillas, los restos de la mazorca y la mazorca en la zona del CATIE, Turrialba. Octubre del 2014.

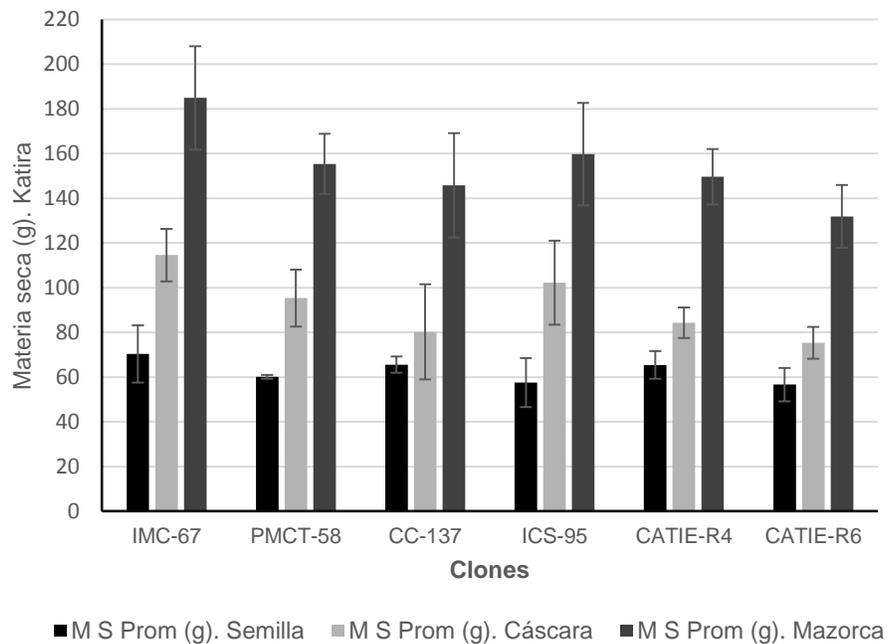


Figura 2. Contenido de materia seca en las semillas, los restos de la mazorca y la mazorca en la zona de Katira, Guatuso. Octubre del 2014.

4.2 Concentración de nutrimentos

La concentración promedio de nutrimentos en los siete clones en evaluación es mayor en la zona del CATIE tanto en semillas como en los restos de la mazorca, excepto en calcio en ambas partes de la mazorca, en zinc y en boro en las semillas (Cuadro 3). En el Anexo1 se detallan las concentraciones individuales por clon, donde se aprecia que en sentido general es mayor en las mazorcas procedentes del CATIE que en las cosechadas en la zona de Katira. Este comportamiento es importante, puesto que a mayor concentración existe la posibilidad de presentarse mayor remoción o extracción de nutrimentos, según el contenido de MS.

Cuadro 3. Concentración promedio de nutrimentos en semillas secas y en los restos de la mazorca de siete clones de cacao en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.

Zona	%									
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	Concentración					Concentración				
	Semillas					Restos de la mazorca				
CATIE	2,41	0,62	1,12	0,11	0,38	1,26	0,21	3,99	0,37	0,40
Katira	2,24	0,54	1,05	0,14	0,33	0,94	0,18	3,15	0,42	0,32

Zona	Mg/kg									
	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	Semillas					Restos de la mazorca				
CATIE	43,29	48,52	47,14	63,00	27,67	19,81	70,76	201,48	57,38	35,05
Katira	35,67	53,10	37,48	55,90	27,73	15,14	54,95	188,86	43,76	31,13

4.3 Extracción o remoción de nutrimentos

4.3.1 Extracción general y por zona

La remoción de nutrimentos por parte de la mazorca de cacao se presenta en el cuadro 4, en las mazorcas procedentes del CATIE hubo mayor extracción que en las mazorcas de la zona de Katira. La mayor extracción se produjo debido a que en CATIE la concentración de los nutrimentos fue mayor tanto en las semillas como en los restos de la mazorca, esto a pesar que en Katira hubo mayor materia seca en la mayoría de los clones.

El orden de extracción $K > N > P$ en este trabajo coincide con el orden publicado por varios autores (Hardy 1961, PROAMAZONÍA 2004, Sánchez *et al.* 2005, IPNI 2007 y Monsalve 2010). Por el contrario, difiere con IPNI (2007) y Monsalve (2010) cuando se incluyen el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) en el orden de extracción $K > N > P > Mg > Ca$, pues estos autores reportan que el Ca se extrae en mayor cantidad que el Mg. Dentro de los micronutrimentos, la mayor extracción ocurre para el manganeso (Mn) seguido por el hierro (Fe) y el zinc (Zn), estos dos últimos muy parecidos. Finalmente, las extracciones menores se dieron para el cobre (Cu) y el boro (B) que presentan valores prácticamente iguales.

Los valores de remoción de nitrógeno (N) fueron mayores significativamente ($p \leq 0,05$) en las mazorcas procedentes del CATIE que las cosechadas en Katira, ambos valores coinciden con los reportados por Hardy (1961), Sánchez *et al.* (2005), IPNI (2007) y (Monsalve (2010) quienes presentan valores entre 30 y 40 kg de N por 1 000 kg de

semillas secas, incluyendo la cáscara; mientras que PROAMAZONÍA (2004) reporta un valor más alto, 44 kg.

Respecto al potasio (K) los valores promedios de las mazorcas cosechadas en el CATIE superan significativamente a los valores de las mazorcas de Katira ($p \leq 0,05$), este resultado puede deberse a que a pesar que en el primer lugar el suelo es menos fértil (Cuadro 1) los árboles habían sido fertilizados, lo que posiblemente permitió mayor concentración de la mayoría de nutrimentos, incluyendo el K, en la materia seca (Cuadro 3). La extracción de K en Katira (41,85 kg, Cuadro 4) coincide con lo expuesto por Hardy (1961), superior al valor de 33,35 kg mencionado por IPNI (2007) y (Monsalve (2010), pero inferior que los datos reportados por PROAMAZONÍA (2004) y Sánchez *et al.* (2005) quienes reportan extracción entre 54 y 85,8 kg de K por 1000 kg de semillas de cacao secas incluyendo la cáscara de la mazorca.

En cuanto a la extracción de P y Mg hubo diferencias ($p \leq 0,05$) entre las dos localidades. La cantidad extraída de P, aunque ligeramente superior, es parecida a las obtenidas por Hardy (1961), PROAMAZONÍA (2004) y Sánchez *et al.* (2005), autores que reportan valores entre 5 y 7 kg de P. Sánchez *et al.* (2005) presentan valores entre 5 y 7 kg de Mg, mientras que IPNI (2007) y Monsalve (2010) se refieren a un valor de 6 kg, datos que coinciden con los encontrados en este trabajo (Cuadro 4). Por el contrario, los valores de Ca en este estudio se presentan ligeramente por debajo que los reportados por estos últimos tres autores, ellos mencionan extracciones entre 5 y 9,3 kg de Ca por 1000 kg de semillas secas incluyendo la cáscara.

Cuadro 4. Extracción total de nutrimentos por una tonelada de semillas secas incluyendo los restos de la mazorca (cáscara y placenta) de siete clones de cacao en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.

Zona	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
CATIE	36,73	8,34	51,08	4,79	7,80	63,10	119,29	248,62	120,38	62,71
Katira	33,11	7,39	41,85	5,93	6,69	52,39	110,72	239,22	99,67	61,02

4.3.2 Extracción por las partes de la mazorca

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 5), 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). Respecto al K, Hardy (1961) e IPNI (2007) coinciden que la cáscara de la mazorca de cacao es rica en K. El Mg fue removido en proporciones muy similares por las dos partes de la mazorca (Cuadro 5). Este comportamiento de la distribución de los nutrimentos es importante conocerlo para la planeación de la fertilización, tomando en consideración el destino de la cáscara, sea retirada o devuelta a la plantación, si la misma es devuelta se debe tener cuidado de distribuirla en toda la plantación para tener éxitos desde el punto de vista de mejoramiento de suelo y nutrición del cultivo, no dejarla agrupada en un mismo lugar. El manganeso (Mn) es un elemento claramente extraído en mayor cantidad por los restos de la mazorca que por las semillas, caso contrario sucede con el cobre (Cu), mientras que los demás micronutrientes fueron removidos en proporciones similares (Cuadro 5).

Cuadro 5. Extracción promedio de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca de siete clones de cacao en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.

Zona	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
	Extracción por 1000 kg de semillas de cacao secas									
CATIE	24,10	6,22	11,19	1,08	3,78	43,29	48,52	47,14	57,38	35,05
Katira	23,02	5,68	10,53	1,53	3,34	36,93	54,50	40,29	56,22	28,86
	Extracción en los restos de la mazorca									
CATIE	12,62	2,12	39,89	3,71	4,02	19,81	70,76	201,48	63,00	27,67
Katira	10,09	1,71	31,34	4,40	3,36	15,43	56,22	198,94	43,44	32,38

4.3.3 Extracción o remoción de nutrimentos por clon

En el cuadro 6 se plasman las extracciones totales de nutrimentos en cada uno de los clones en estudio. En la figura 3 se observa que el N es igual en todos los clones con ligera superioridad del CATIE-R6 sobre los demás, en esa misma figura se aprecia que el clon ICS-95 es inferior significativamente en la extracción de K respecto a los clones CC-137, CATIE-R1, IMC-67 y CATIE-R6.

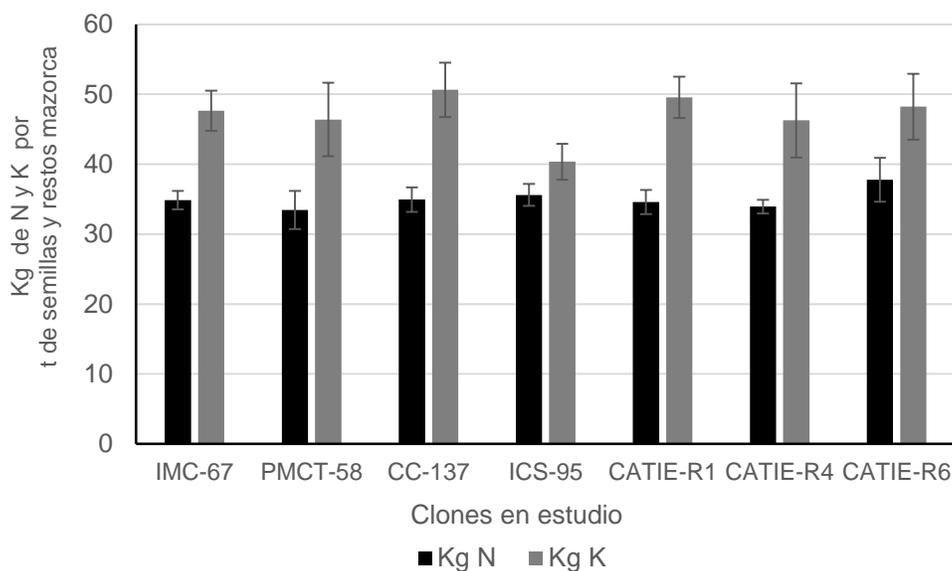


Figura 3. Extracción total de nitrógeno y potasio por tonelada de semillas secas y los restos de la mazorca en siete clones de cacao. Costa Rica, octubre de 2014.

La figura 4 indica que la extracción tanto del P como la del Mg es igual estadísticamente entre las mazorcas de los clones; por el contrario las mazorcas del clon ICS-95 son superiores a las mazorcas de los demás clones en extracciones de Ca, excepto que las del clon CATIE-R4, este último supera a las extracciones de los clones IMC-67, PMCT-58 y al CATIE-R1. La extracción de nutrimentos en forma independiente para cada una de las dos partes de la mazorca por clon se detalla en el anexo 2.

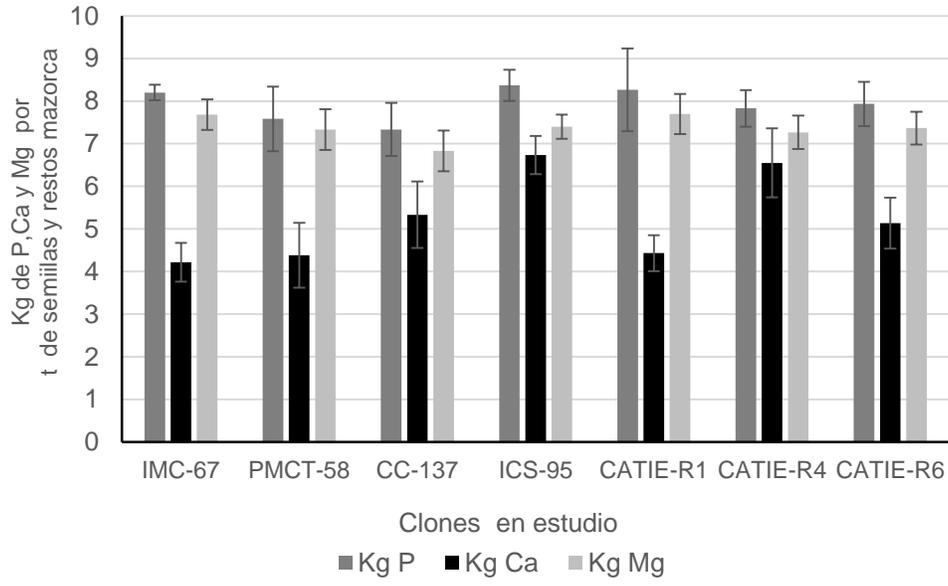


Figura 4. Extracción total de fósforo, calcio y magnesio por tonelada de semillas secas y los restos de la mazorca en siete clones de cacao. Costa Rica, octubre de 2014.

Cuadro 6. Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas incluyendo los restos de la mazorca en cada uno de siete clones de cacao en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.

	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Clon IMC-67										
CATIE	36,77	9,27	53,60	3,77	8,83	70,00	121,33	188,33	225,33	68,00
Katira	32,97	7,13	41,70	4,67	6,53	50,67	115,67	234,67	114,33	60,67
Promedio	34,87	8,20	47,65	4,22	7,68	60,34	118,5	211,5	169,83	64,34
Clon PMCT-58										
CATIE	37,10	8,23	46,87	5,10	8,03	64,00	118,33	237,67	95,00	67,33
Katira	29,80	6,93	45,93	3,67	6,63	58,00	114,00	219,67	104,67	56,43
Promedio	33,45	7,58	46,40	4,39	7,33	61,00	116,16	228,67	99,83	61,88
Clon CC-137										
CATIE	36,90	7,33	56,67	4,27	7,13	67,67	120,33	253,00	176,33	63,67
Katira	32,97	7,33	44,60	6,40	6,53	64,00	115,67	269,67	93,67	89,33
Promedio	34,94	7,33	50,64	5,34	6,83	65,84	118,00	261,34	135,00	76,50
Clon ICS-95										
CATIE	37,60	8,77	43,67	7,23	7,97	55,33	125,00	316,67	84,33	62,00
Katira	33,60	7,97	37,03	6,23	6,83	50,33	95,33	245,67	94,00	62,67
Promedio	35,60	8,37	40,35	6,73	7,40	52,83	110,17	281,17	89,17	62,34
Clon CATIE-R1										
CATIE	34,60	8,27	49,57	4,43	7,70	59,00	119,67	270,67	84,67	57,67
Katira	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Promedio	34,60	8,27	49,57	4,43	7,70	59,00	119,67	270,67	84,67	57,67
Clon CATIE-R4										
CATIE	36,33	8,30	51,47	4,47	7,40	65,00	114,67	262,00	125,67	55,67
Katira	31,53	7,36	41,07	8,63	7,13	43,33	109,67	188,33	90,33	45,33
Promedio	33,93	7,83	46,27	6,55	7,27	54,17	112,17	225,17	108,00	50,50
Clon CATIE-R6										
CATIE	37,80	8,23	55,70	4,27	7,50	60,67	115,67	212,00	116,33	64,67
Katira	37,77	7,63	40,77	6,00	6,47	48,00	114,00	277,33	101,00	51,67
Promedio	37,79	7,93	48,24	5,14	6,99	54,34	114,84	244,67	108,67	58,17

4.4 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 patrones de los clones UF-613 y IMC-67. En cuanto a las medias de MS no hubo diferencias estadística significativas ($p > 0,05$) en las dos partes de la mazorca, para ninguna de las combinaciones de los clones R4 y R6 injertados en los diferentes patrones. El contenido de MS se visualiza en la figura 5, donde el valor más alto en las semillas y mazorca fue para la combinación CATIE-R4/IMC-67 con 54,94g y 122,11g respectivamente; en ese mismo orden el valor más alto en cáscara lo obtuvo la combinación CATIE-R6/IMC-67 con 73,37g.

Los valores obtenidos del cálculo de la extracción de los nutrimentos por la mazorca no mostraron diferencias estadística significativas ($p>0,05$) entre ninguna de las combinaciones clon-patrón. Los valores totales de las extracciones de las semillas y los restos de la mazorca de cada elemento se encuentran en los cuadros 7 y 8, para las combinaciones R4 y R6 injertados en los patrones de los clones UF-613 y IMC-67, respectivamente.

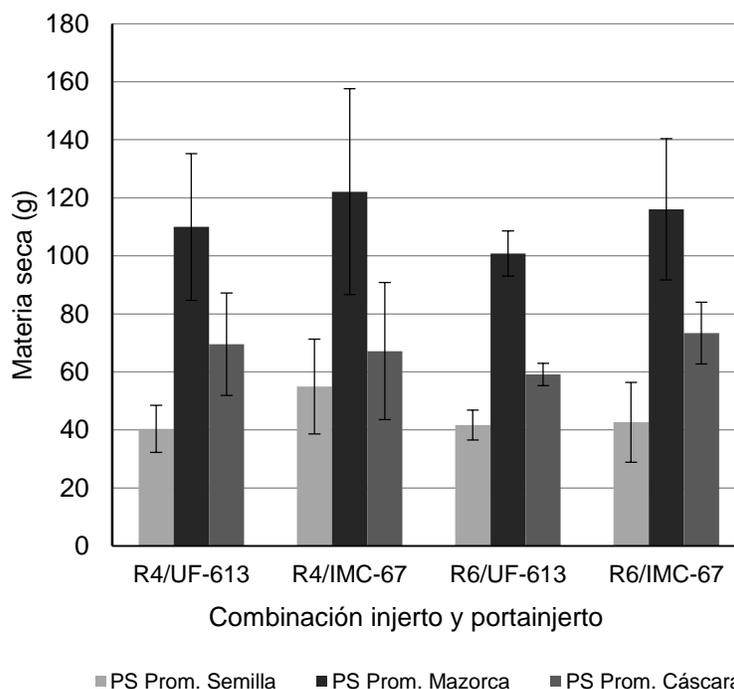


Figura 5. Contenido promedio de materia seca de la mazorca y sus partes en los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 injertados en patrones de los clones UF-613 y IMC-67.

Cuadro 7. Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao CATIE-R4 injertado en UF-613 y IMC-67 (CATIE-R4/UF-613, CATIE-R4/IMC-67) respectivamente, en la zona del CATIE, Turrialba, Costa Rica. Octubre de 2014.

Kilogramos					Gramos					
N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B	
CATIE-R4/UF-613										
Extracción por 1000 kg de 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 en 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	34,93	8,26	53,56	4,23	7,13	67,00	115,33	243,00	143,00	84,67
CATIE-R4/IMC-67										
Extracción por 1000 kg de semillas de cacao secas										
23,20	5,67	10,80	0,80	3,50	46,67	54,33	50,33	74,67	29,92	
Extracción en los restos de la mazorca										
12,10	1,67	37,07	3,03	3,43	19,00	56,00	174,67	75,00	41,82	
Total	35,30	7,34	47,87	3,83	6,93	65,67	110,33	225,00	149,67	71,74

Cuadro 8. 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 (CATIE-R6/UF-613, CATIE-R6/IMC-67) respectivamente, en la zona del CATIE, Turrialba, Costa Rica. Octubre de 2014.

Kilogramos					Gramos					
N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B	
CATIE-R6/UF-613										
Extracción por 1000 kg de 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 en 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	32,24	8,1	50,74	4,2	6,96	63,67	117,34	210,00	159,34	56,67
CATIE-R6/IMC-67										
Extracción por 1000 kg de 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 en 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	34,8	8,43	49,23	3,77	6,87	71,00	108,33	248,33	116,33	56,66

5 Conclusiones y recomendaciones

Para efecto de estas conclusiones, la extracción o remoción de nutrimentos se refiere a una tonelada (1000kg de semillas secas incluyendo los restos del fruto o mazorca (cáscara más placenta).

El orden de extracción o remoción de macronutrimentos y elementos secundarios por los frutos de los clones de cacao estudiados fue: K>N>P>Mg>Ca.

La extracción de micronutrimentos por los frutos de los clones estudiados se produjo en el orden Mn>Fe>Zn>Cu=B.

Las semillas secas de los frutos de los clones de cacao extrajeron mayor cantidad de N y P que los restos del fruto o mazorca. Esta última parte extrajo más K y Ca que las semillas. El Mg fue extraído en cantidad similar por ambas partes.

El N se extrajo en cantidad similar por los frutos de los siete clones estudiados, con un rango de 33,45 a 37,79 kg/ t.

Los frutos del clon ICS-95 extrajeron la menor cantidad de potasio (40,35 kg de K/t), mientras que la mayor cantidad se alcanzó con los frutos del clon CC-137 (50,64 kg de K/t).

Los frutos de los clones estudiados extrajeron cantidad similar de fósforo y magnesio, en un rango de 7,33 a 8,37 kg de P/t y 6,83 a 7,70 kg de Mg/t.

El Ca se extrajo en igual cantidad entre los frutos del clon ICS-95 y los del clon CATIE-R4 (6,63 kg de Ca/t y 6,55 kg de Ca/t, respectivamente), siendo los valores más altos respecto a los demás clones.

No hubo evidencia que los clones IMC-67 y UF-613 usados como portainjertos (patrones) influyeran en las extracciones de nutrimentos por los frutos de los clones CATIE-R4 y CATIE-R6 usados como injertos (combinaciones CATIE-R4/UF-613, CATIE-R4/IMC-67, CATIE-R6/UF-613 y CATIE-R6/IMC-67).

Basado en los trabajos de campo y resultados obtenidos se recomienda que en aquellos sistemas de producción donde se deposita las cáscaras de los frutos dentro de la plantación se distribuyan en forma homogénea, para mejor aprovechamiento en cuanto a mejoramiento del suelo y nutrición del cultivo.

En aquellas plantaciones de cacao donde se desea implementar un plan de fertilización, se manejan planes de fertilización con fertilizantes inorgánicos o bien con la combinación de estos con abonos orgánicos y desean ajustarlos; considerar las extracciones de nutrimentos presentes por los frutos de cacao, la actividad de distribución o no de las cáscaras de los frutos, los rendimientos esperados y los resultados de análisis de suelos.

6 Bibliografía

- Barrantes J, L; Foster R, LL. 2010. Cadena Productiva de Cacao. Políticas y Acciones. SEPSA, Sector Agropecuario, MAG. San José, C. Rica. 10p.
- Canacacao (Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica). 2008. Estadísticas Nacionales. Cacao de Costa Rica. (en línea). Consultado el 25 de enero de 2011. Disponible en: <http://www.canacacao.org/estadisticas/analisis>.
- _____ (Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica). 2012. Estadísticas Nacionales. Cacao de Costa Rica. (en línea). Consultado el 27 de enero de 2013. Disponible en: <http://www.canacacao.org/estadisticas/analisis>.
- _____ (Asociación Cámara Nacional de Cacao Fino de Costa Rica). 2014. Noticias. Cacao de Costa Rica. (en línea). Consultado el 13 de mayo de 2015. Disponible en: <http://www.canacacao.org/noticias>.
- Castellano, J. 2007. El Cacao, un cultivo tradicional de exportación. (en línea). Consultado el 6 de enero de 2011. <http://laeducacionagricola.blogspot.com/2008/12/el-cacao-un-cultivo-tradicional-de.html>.
- Hardy F. 1960. Cultivo del cacao. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). Turrialba, Costa Rica. pp.18-20, 79-80, 211, 229-230.
- Hardy, F.1961. Manual de cacao. IICA, Turrialba, Costa Rica. 439 p.
- IPNI (International plant nutrition Institute. Northern Latin America). 2007. Deficiencias nutricionales y fertilización del cacao. (en línea). Consultado el 19 de noviembre de 2010. Disponible en: www.ipni.net/./article=8ABD1B7805256B68005548E99546FF67
- Monsalve, LS. 2010. Federación Nacional de Cacaoteros. Fondo Nacional del cacao. Colombia. Presentación: Fertilización en Cacao. Colombia. Julio de 2010. 25p.
- Phillips M, W; Arciniegas L, A; Mata Q, A; Motamayor A, JC. 2012. Catálogo de clones de cacao seleccionados por el CATIE para siembra comerciales. Programa Agroambiental Mesoamericano. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 68p.
- PROAMAZONA (Programa para el desarrollo de la Amazona). 2004. "Manual del cultivo de cacao". Ministerio de Agricultura, Perú. pp 11-46.
- Sánchez F, LE; Parra, D; Gamboa, E; Rincón, J. 2005. Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con npk en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Bioagro*. (en línea). Abril, 2005, vol.17, no.2 (consultado el 04 Noviembre 2010), p.119-122. Disponible en la World Wide Web: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-3361. ISSN 1316-3361.

SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2010. Superficie y producción. Agrícola. Serie cronológica 2006-2009. Boletín Estadístico Agropecuario N° 20. (en línea). Consultado el 27 de enero de 2011. Disponible en www.infoagro.go.cr/BEA20/boletin20.html.

_____ (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2012. Boletín Estadístico Agropecuario N° 22. Serie cronológica 2008-2011. Ministerio de Agricultura. San José, Costa Rica 2012. pp. 14-23.

_____ (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria). 2014. Boletín Estadístico Agropecuario N° 24. Serie cronológica 2010-2013. Ministerio de Agricultura. San José, Costa Rica 2012. p. 15, 19 y 21.

Uribe, A; Méndez, H; Mantilla, J. 1998. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en la producción de cacao en el Departamento de Santander, Colombia. Revista Suelos Ecuatoriales, 28:31-36.

7 Anexos

Cuadro 9. Anexo 1. Concentración de nutrimentos en las semillas secas y en los restos de la mazorca de siete clones plantados en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.

Concentración de nutrimentos en las partes de la mazorca del clon de cacao IMC-67										
%										
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
CATIE	2,44	0,72	1,19	0,07	0,45	1,24	0,21	4,17	0,31	0,44
Katira	2,22	0,49	1,06	0,09	0,34	1,06	0,16	3,20	0,36	0,32
Mg/kg										
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Fe	B
CATIE	50,00	55,33	39,00	76,00	32,67	20,00	66,00	149,33	84,33	35,33
Katira	40,33	55,00	41,33	51,33	27,18	15,67	56,67	191,33	56,33	35,33
Concentración de nutrimentos en las partes de la mazorca del clon de cacao PMCT-58										
%										
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
CATIE	2,52	0,60	0,96	0,11	0,38	1,19	0,22	3,73	0,40	0,42
Katira	2,22	0,49	1,06	0,09	0,34	0,52	0,20	3,53	0,28	0,33
Mg/kg										
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Fe	B
CATIE	44,67	50,33	39,00	58,33	31,00	19,33	68,00	198,67	36,67	36,33
Katira	40,33	55,00	41,33	51,33	27,18	17,67	59,00	178,33	53,33	29,26
Concentración de nutrimentos en las partes de la mazorca del clon de cacao CC-137										
%										
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
CATIE	2,41	0,55	1,21	0,11	0,35	1,28	0,18	4,46	0,32	0,37
Katira	2,34	0,57	1,12	0,16	0,34	0,96	0,17	3,34	0,48	0,31
Mg/kg										
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Fe	B
CATIE	47,00	45,33	61,67	75,33	27,00	20,67	75,00	191,33	101,00	36,67
Katira	44,33	52,00	43,00	49,33	51,67	19,67	63,67	226,67	44,33	37,67
Concentración de nutrimentos en las partes de la mazorca del clon de cacao ICS-95										
%										
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
CATIE	2,42	0,63	1,08	0,20	0,39	1,34	0,25	3,28	0,52	0,41
Katira	2,28	0,60	1,09	0,18	0,34	1,08	0,20	2,61	0,44	0,34
Mg/kg										
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Fe	B

	Semillas					Restos de la mazorca				
CATIE	36,33	43,00	52,67	55,33	31,00	19,00	82,00	264,00	29,00	31,00
Katira	36,00	42,00	49,00	55,33	26,33	14,33	53,33	196,67	38,67	36,33

Concentración de nutrimentos en las partes de la mazorca del clon de cacao CATIE-R1										
%										
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
CATIE	2,27	0,61	1,06	0,10	0,37	1,19	0,21	3,90	0,34	0,40

Mg/kg										
	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas					Restos de la mazorca					
CATIE	38,00	48,67	46,67	47,00	26,33	21,00	71,00	224,00	37,67	31,33

Concentración de nutrimentos en las partes de la mazorca del clon de cacao CATIE-R4										
%										
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
CATIE	2,41	0,62	1,18	0,08	0,36	1,23	0,21	3,97	0,37	0,38
Katira	2,09	0,61	1,04	0,24	0,33	1,06	0,18	3,07	0,62	0,39

Mg/kg										
	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas					Restos de la mazorca					
CATIE	46,33	50,00	51,67	66,33	22,00	18,67	64,67	210,33	59,33	33,67
Katira	32,33	59,33	22,00	61,67	18,00	11,00	50,33	166,33	28,67	27,33

Concentración de nutrimentos en las partes de la mazorca del clon de cacao CATIE-R6										
%										
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Concentración										
Zona	Semillas					Restos de la mazorca				
CATIE	2,40	0,62	1,16	0,08	0,35	1,38	0,20	4,41	0,34	0,40
Katira	2,65	0,59	1,04	0,14	0,32	1,13	0,17	3,04	0,46	0,32

Mg/kg										
	Cu	Zn	Mn	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Semillas					Restos de la mazorca					
CATIE	40,67	47,00	39,33	62,67	23,67	20,00	68,67	172,67	53,67	41,00
Katira	33,67	59,67	43,00	61,67	23,33	14,33	54,33	234,33	39,33	28,33

Cuadro 10. Anexo 2. Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca de siete clones plantados en dos zonas de Costa Rica. Octubre de 2014.

Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao IMC-67 en dos zonas de Costa Rica										
Zona	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Extracción por 1000 kg de semillas de cacao secas										
CATIE	24,40	7,20	11,93	0,67	4,47	50,00	55,33	39,00	76,00	32,67
Katira	22,40	5,53	9,73	1,10	3,30	35,00	59,00	43,33	58,00	25,33
Extracción en los restos de la mazorca										
CATIE	12,37	2,07	41,67	3,10	4,37	20,00	66,00	149,33	84,33	35,33
Katira	10,57	1,60	31,97	3,57	3,23	15,67	56,67	191,33	56,33	35,33
Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao PMCT-58 en dos zonas de Costa Rica										
Zona	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Extracción por 1000 kg de semillas de cacao secas										
CATIE	25,20	6,00	9,60	1,13	3,83	44,67	50,33	39,00	58,33	31,00
Katira	22,17	4,93	10,60	0,90	3,37	40,33	55,00	41,33	51,33	27,18
Extracción en los restos de la mazorca										
CATIE	11,90	2,23	37,27	3,97	4,20	19,33	68,00	198,67	36,67	36,33
Katira	7,63	2,00	35,33	2,77	3,27	17,67	59,00	178,33	53,33	29,26
Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao CC-137 en dos zonas de Costa Rica										
Zona	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Extracción por 1000 kg de semillas de cacao secas										
CATIE	24,13	5,53	12,07	1,07	3,47	47,00	45,33	61,67	75,33	27,00
Katira	23,37	5,67	11,17	1,57	3,43	44,33	52,00	43,00	49,33	51,67
Extracción en los restos de la mazorca										
CATIE	12,77	1,80	44,60	3,20	3,67	20,67	75,00	191,33	101,00	36,67
Katira	9,60	1,67	33,43	4,83	3,10	19,67	63,67	226,67	44,33	37,67
Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao ICS-95 en dos zonas de Costa Rica										
Zona	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Extracción por 1000 kg de semillas de cacao secas										
CATIE	24,23	6,27	10,83	2,03	3,90	36,33	43,00	52,67	55,33	31,00
Katira	22,77	5,97	10,93	1,80	3,40	36,00	42,00	49,00	55,33	26,33
Extracción en los restos de la mazorca										
CATIE	13,37	2,50	32,83	5,20	4,07	19,00	82,00	264,00	29,00	31,00
Katira	10,83	2,00	26,10	4,43	3,43	14,33	53,33	196,67	38,67	36,33
Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao CATIE-R1 en dos zonas de Costa Rica										
Zona	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Zona	Extracción por 1000 kg de semillas de cacao secas									
CATIE	22,73	6,13	10,57	1,00	3,73	38,00	48,67	46,67	47,00	26,33
	Extracción en los restos de la mazorca									
CATIE	11,87	2,13	39,00	3,43	3,97	21,00	71,00	224,00	37,67	31,33
Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao CATIE-R4 en dos zonas de Costa Rica										
	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Zona	Extracción por 1000 kg de semillas de cacao secas									
CATIE	24,07	6,23	11,77	0,80	3,57	46,33	50,00	51,67	66,33	22,00
Katira	20,93	6,10	10,37	2,43	3,27	32,33	59,33	22,00	61,67	18,00
	Extracción en los restos de la mazorca									
CATIE	12,27	2,07	39,70	3,67	3,83	18,67	64,67	210,33	59,33	33,67
Katira	10,60	1,26	30,70	6,20	3,87	11,00	50,33	166,33	28,67	27,33
Extracción de nutrimentos por una tonelada de semillas secas y en los restos de la mazorca del clon de cacao CATIE-R6 en dos zonas de Costa Rica										
	Kilogramos					Gramos				
	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	B
Zona	Extracción por 1000 kg de semillas de cacao secas									
CATIE	23,97	6,20	11,57	0,83	3,47	40,67	47,00	39,33	62,67	23,67
Katira	26,47	5,90	10,40	1,40	3,23	33,67	59,67	43,00	61,67	23,33
	Extracción en los restos de la mazorca									
CATIE	13,83	2,03	44,13	3,43	4,03	20,00	68,67	172,67	53,67	41,00
Katira	11,30	1,73	30,37	4,60	3,23	14,33	54,33	234,33	39,33	28,33