

COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE FRUTOS DE CAFÉ Y EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES POR LA COSECHA EN LA ZONA CAFETERA DE COLOMBIA

Siavosh Sadeghian-Khalajabadi*; Beatriz Mejía-Muñoz*; Jaime Arcila-Pulgarín**

RESUMEN

SADEGHIAN KH., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé* 57(4):251-261.2006.

Se analizó la composición elemental de las diferentes partes constitutivas de los frutos de café de la variedad Colombia, para determinar la extracción de los nutrientes por la cosecha en la zona cafetera colombiana. Se evaluaron 424 muestras de café almendra provenientes de 14 departamentos, 62 muestras de pergamino, cinco de pulpa y 23 de mucílago. Adicionalmente, se cuantificó el contenido de los elementos nutritivos en muestras de café cereza, de dos localidades. La composición de los nutrientes mostró variaciones de acuerdo a la parte del fruto. La extracción total de elementos estimada para una cosecha equivalente a 1.000kg de café almendra, con 11% de humedad, fue de 78kg, distribuidos así: almendra 35kg, pulpa 37kg, pergamino 2kg y mucílago 4kg. La cantidad de macronutrientes (kg) contenidos en los 1.000kg de café almendra fueron: N 30,9; P 2,3; K 36,9; Ca 4,3; Mg 2,3 y S 1,2. La extracción de los micronutrientes (g) fue: Fe 107, Mn 61, B 50, Cu 33 y Zn 18. Al emplear el fruto entero para determinar la extracción se registraron algunas diferencias frente a la valoración por partes del fruto, que se atribuyeron a las condiciones predominantes de los dos sitios de muestreo. La composición elemental en la almendra exhibió algunas variaciones entre las diferentes regiones del país.

Palabras clave: *Coffea arabica*, variedad Colombia, macro y micronutrientes, cereza, almendra, pergamino, pulpa, mucílago.

ABSTRACT

The mineral elements composition of the different parts that constitute the coffee fruits of the Colombia variety was analyzed in order to determinate the extraction of nutrients from the harvest in the Colombian coffee zone. There were 424 evaluated samples of green beans from 14 states; 62 samples of parchment coffee, 5 samples of pulp and 23 of mucilage. In addition, the content of nutrients in samples of cherry coffee was quantified in two localities. The composition of the nutrients showed variations according to the part of the fruit. The total nutrient extraction calculated for a harvest equivalent to 1,000kg of green bean with 11% of moist was 78kg, distributed as follows: 35kg of green bean, 37kg of pulp, 2kg of parchment and 4kg of mucilage. The quantity of macronutrients (kg), in the 1,000kg of green beans was: N 30.9; P 2.3; K 36.9; Ca 4.3; Mg 2.3 and S 1.2. The extraction of the micronutrients (g) was: Fe 107, Mn 61, B 50, Cu 33 and Zn 18. When using whole fruit to determine the nutrient extraction, slight differences were registered regarding the fruits parts valuing that were attributed to the predominant conditions of both sampling sites. The elemental composition of the green bean exhibited some variations among the different regions of the country.

Keyword: *Coffea arabica*, Colombia variety, macro and micronutrients, cherry, green beans, parchment, pulp, mucilage.

* Investigador Científico II y Asistente de Investigación, respectivamente. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Investigador Principal. Fitotecnía. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

La cantidad de nutrientes requeridos por la cosecha varía de acuerdo a las características del cultivo (especie, variedad, nivel de producción), los factores climáticos (humedad y temperatura), las propiedades del suelo (fertilidad, tipo de suelo, pendiente), y el manejo cultural (6). En general, la información anterior es útil para determinar, a través de la experimentación, la respuesta de los cultivos al suministro de nutrientes y en ocasiones, para ajustar los planes de fertilización.

Colwell (4) sugiere aplicar como dosis de sostenimiento la cantidad de nutrientes removidos por una cosecha, con el fin de mantener un nivel adecuado de los elementos en el suelo. Dicha dosis puede determinarse mediante el análisis de los elementos extraídos por la cosecha, y varía de acuerdo a la región y a las prácticas del cultivo. También aclara que en investigaciones dirigidas hacia la determinación de la respuesta de los cultivos a la fertilización, se puede seleccionar como dosis más baja para evaluar (en vez de cero), la mitad de la dosis de sostenimiento para la producción de una cosecha normal.

Con relación a lo anterior, Havlin *et al.* (6) sostienen que para nutrientes de alta movilidad en el suelo, como nitrógeno y azufre, la recomendación para la fertilización debe hacerse independiente de la producción potencial, debido a que su disponibilidad puede verse limitada por las condiciones del suelo, como la humedad y la temperatura. En contraposición, la recomendación para los nutrientes poco móviles como el fósforo, o medianamente móviles como el potasio, puede basarse en el reemplazo de la cantidad del elemento removido en función de la producción.

Guerrero (5), afirma que solo una porción de los elementos extraídos del suelo por los cultivos es removida por la cosecha (por ejemplo: en los granos de maíz o soya), y que el resto vuelve al suelo en forma de raíces, tallos y hojas, entre otros, a través del ciclaje de nutrientes; además, aclara que los niveles de extracción por sí solos no son suficientes para la dosificación de los fertilizantes.

Para el cultivo de café, Riaño *et al.* (9) midieron durante cinco años, la acumulación de materia seca y la extracción de nutrientes de la variedad Colombia, en tres localidades de la zona cafetera central colombiana, y observaron que la acumulación de materia seca por planta fue similar en los tres sitios, pero la distribución de los asimilados en los diferentes órganos no tuvo la misma respuesta. Este comportamiento se relacionó con el potencial productivo en cada localidad, determinado por las condiciones ambientales.

Malavolta, citado por la IFA (7), presenta los siguientes valores de extracción para los macro y micronutrientes en el café en almendra¹ y en frutos de café tipo arábigo, para condiciones de Brasil (Tabla 1).

Chaves (3), sugiere tener en cuenta la producción y la remoción de los nutrientes del cafeto para la recomendación de la fertilización, la cual se basa en la siguiente relación de extracción por cada 1.000kg de frutos secos de café o “café em coco”²: N=22kg, P₂O₅=2,6kg, y K₂O=36kg, Ca=2,4kg, Mg=2,1kg, SO₄=5kg, Zn=5g y B=17g.

En diferentes zonas de Cuba, Rivera (10) encontró que las cantidades de N, P y K extraídas por frutos de café, estaban relacionadas con las condiciones agroclimáticas,

¹ “Café verde”

² Término empleado en Brasil para referirse al café cereza luego del secado

Tabla 1. Nutrientes extraídos por 1.000kg de café almendra (7).

Parte del fruto	Macronutrientes						Micronutrientes					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
	(kg)						(g)					
Café almendra	17,0	2,5	18,7	3,9	2,6	1,3	61,2	20,2	12,2	13,6	16,3	0,05
Fruto entero	34,8	5,7	64,5	9,9	4,6	2,9	112	50	84	32	51	0,12

con la producción y la fertilización. Para estimar los requerimientos de los nutrientes, Rivera (10) empleó una metodología basada en el *Índice de Exportación-IE* (kilogramo de elemento exportado por tonelada de café oro*) y el *Índice de Utilización-IU* (kilogramo del elemento exportado por kilogramo del elemento extraído).

Este trabajo tuvo como objetivo determinar la composición elemental de las diferentes partes que comprenden el fruto de café de la variedad Colombia, y estimar la extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó el contenido de nutrientes en los frutos enteros de café, así como en cada una de las partes que lo componen (pulpa, mucílago, pergamino y almendra).

Evaluación de nutrientes en las partes constitutivas del fruto. Se analizó la composición elemental de muestras de café recolectadas entre los años 2000 y 2006, en plantaciones tecnificadas de la variedad Colombia a libre exposición solar. En total se evaluaron 424 muestras de café almendra, provenientes de 14 departamentos cafeteros del país, 62 muestras de pergamino o cisco, cinco de pulpa y 23 de mucílago.

Se determinaron los contenidos de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), cinc (Zn) y boro (B), en muestras que fueron secadas en estufa a 60°C, mediante las metodologías descritas por Carrillo *et al.* (1).

Una vez analizadas las muestras se estimó la extracción de los nutrientes, mediante el empleo de factores de conversión (determinantes), estimados por Uribe (11) y Montilla (8). También se tuvo en cuenta el contenido de humedad de las muestras, de acuerdo con las siguientes equivalencias:

- 1.000kg (80 arrobas) de café almendra con 11% humedad equivalen a 1.250kg de café pergamino seco (c.p.s.).
- 1.250kg (100 arrobas) de c.p.s. contienen 250kg (20 arrobas) de pergamino de café, con 10% de humedad.
- 1.250kg de c.p.s. equivalen a 5.625kg de café cereza, con 76% de humedad.
- 1.250kg de c.p.s. generan 2.725kg de pulpa fresca con 78% de humedad.
- 1.250kg de c.p.s. generan 620kg de mucílago con 80% de humedad.

Evaluación de nutrientes en el fruto entero. Se analizó la composición elemental de café cereza en 10 muestras de la variedad Colombia, provenientes de dos sitios con

* Café almendra

condiciones agroecológicas contrastantes. En la Subestación Experimental Paraguaicito, ubicada en el municipio de Buenavista (Quindío) se tomaron cuatro muestras, y en la Subestación Experimental Santander, localizada en el municipio de Floridablanca (Santander) se recolectaron seis muestras. En la Tabla 2 se presenta la información correspondiente a la ubicación, la unidad de suelo y el clima de estas localidades.

La composición elemental de los frutos se analizó con base en la metodología descrita anteriormente, y se calculó la extracción total de nutrientes por cada 1.000kg de café cereza.

Se estimaron los valores promedios y los intervalos de confianza al 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de nutrientes en las partes constitutivas del fruto. En la Tabla 3 se presentan los promedios de la concentración de nutrientes en las diferentes partes del fruto de café (almendra, pergamino, pulpa y mucílago), en base seca.

Las mayores concentraciones de N, P, Mg, S y Mn se registraron en el café almendra. Para el caso del K, el Cu y el B las concentraciones más altas se encontraron en la pulpa, y en el mucílago se hallaron las concentraciones más elevadas de Ca, Fe y Zn.

En la almendra, el N fue el nutriente de mayor concentración, seguido por el K. Los

Tabla 2. Ubicación geográfica y condiciones climáticas de las Subestaciones Experimentales Paraguaicito (Quindío) y Santander (Santander).

Subestación Experimental	Altitud (m)	Coordenadas		Unidad cartográfica de suelos	Temperatura (°C)	Lluvia (mm.año ⁻¹)	Brillo solar (h.año ⁻¹)
		Norte	Oeste				
Paraguaicito	1.260	4° 24'	75° 44'	Montenegro	22,2	1.984	1.833
Santander	1.500	7° 06'	73° 04'	Paujil	19,4	1.438	1.512

Tabla 3. Promedios de la concentración de nutrientes en base seca e intervalos de confianza- IC (p<0,05) en las diferentes partes del fruto de café variedad Colombia.

Parte del fruto	Parámetro	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		(%)							(mg.kg ⁻¹)			
Café almendra	Promedio	1,886	0,156	1,389	0,181	0,166	0,111	37,15	42,25	8,29	13,78	11,29
	IC±	0,018	0,003	0,021	0,011	0,004	0,006	1,80	2,41	0,31	0,36	0,54
Pergamino	Promedio	0,425	0,011	0,265	0,190	0,049	0,040	33,47	17,81	5,74	8,06	5,87
	IC±	0,029	0,001	0,014	0,013	0,004	0,005	2,42	1,29	0,87	0,69	0,42
Pulpa	Promedio	1,706	0,103	3,300	0,261	0,084	0,020	42,98	24,30	6,58	24,10	51,87
	IC±	0,070	0,010	0,314	0,025	0,012	0,002	11,68	6,37	2,43	8,93	10,39
Mucílago	Promedio	1,357	0,116	1,282	0,370	0,088	0	301,87	26,91	37,26	21,63	27,59
	IC±	0,180	0,036	0,282	0,088	0,021	0	58,44	2,62	7,00	3,85	4,97

contenidos de Ca, Mg y P fueron relativamente similares y con promedios menores a 0,20%, es decir diez veces menos que los registrados para el N, pero superiores a los del S. Entre los elementos menores, el Fe y el Mn registraron las mayores concentraciones (promedios cercanos a 40mg.kg⁻¹); pese a ello, sus equivalentes en términos porcentuales (0,0037 y 0,0042%, respectivamente) fueron 450 veces menores a los del N.

El contenido de los nutrientes en el pergamino fue menor de 0,45%; los elementos N, K y Ca se destacaron en su orden, como aquellos con mayor concentración, seguidos por Mg, S y P. Entre los elementos menores el Fe se caracterizó por sus niveles más altos, seguido por el Mn, Cu, Zn y B, en su respectivo orden.

En la pulpa, la concentración de K fue la más alta. El N ocupó el segundo lugar, seguido por el Ca, el P, el Mg y el S, con contenidos por debajo de 0,3%. En cuanto a los elementos menores, el B presentó el mayor valor, con un promedio ligeramente superior al del Fe. Los demás micronutrientes no superaron los 30mg.kg⁻¹.

En el mucílago, los porcentajes del N y K fueron similares, y mayores a los del Ca, el cual a su vez exhibió una concentración mayor que los demás elementos secundarios. Debe resaltarse que el S no se detectó en el mucílago.

En la Figura 1 se muestra la distribución porcentual de los macro y microelementos

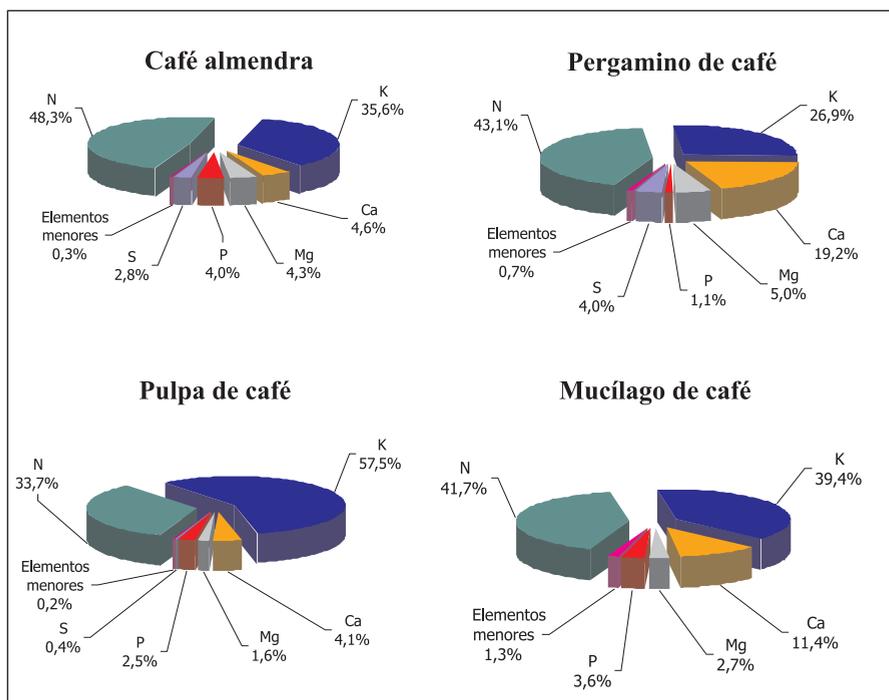


Figura 1. Distribución porcentual de los elementos mayores y menores en las diferentes partes del fruto de café.

en las diferentes partes del fruto de café. Para esto se consideró el peso total de los elementos analizados como un 100%, sin tener en cuenta a otros elementos como el carbono, el hidrógeno y el oxígeno. Se resaltan las siguientes tendencias:

- El N representó entre el 34 y el 48% del peso total de los nutrientes analizados en la biomasa seca de los frutos de café. El porcentaje más bajo correspondió a la pulpa y el más alto a la almendra.
- La representación del K varió entre el 27% en el pergamino y el 58% en la pulpa.
- El P participó sólo con el 1,1% del peso total de los nutrientes en el pergamino y el 4% en el café almendra.
- Los niveles relativos más altos de Ca y Mg se encontraron en el pergamino, mientras que los más bajos se detectaron en la pulpa.
- La participación porcentual del S frente al total de los nutrientes varió entre 4% en el pergamino (valor más alto) y 0,4% en la pulpa (valor más bajo). Lo anterior

sin considerar que este elemento no se detectó en el mucílago.

- Los elementos menores tuvieron una participación relativa baja en la pulpa y en la almendra (0,3%) frente al mucílago (1,3%).

Concentración de nutrientes en el fruto entero. En la Tabla 4 se observan los valores de las concentraciones de nutrientes en las muestras de café cereza analizadas en las Subestaciones Paraguaicito y Santander. En general, se presentaron variaciones entre los valores encontrados, tanto dentro de una misma localidad como entre ellas. Las mayores diferencias entre los dos sitios se registraron para los elementos menores, en cuyo caso, los contenidos más altos de Zn y Cu se encontraron en Santander, mientras que en Paraguaicito fueron mayores los contenidos de B y Mn. Los promedios de las concentraciones de N, Ca y Mg fueron ligeramente menores en Santander.

Extracción de nutrientes por las partes del fruto. Con base en los datos de la

Tabla 4. Concentraciones de nutrientes en diferentes muestras de café cereza, correspondientes a los departamentos de Quindío (Subestación Paraguaicito) y Santander (Subestación Santander).

Subestación	Muestra	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		(%)						(mg.kg ⁻¹)				
Paraguaicito	1	1,47	0,14	2,23	0,28	0,11	0,11	29	36	4	6	14
	2	1,47	0,10	2,00	0,31	0,12	0,06	27	36	4	3	16
	3	1,41	0,12	2,22	0,31	0,12	0,08	27	37	5	4	14
	4	1,48	0,10	2,15	0,36	0,11	0,08	23	51	4	4	16
	Promedio	1,46	0,12	2,15	0,32	0,12	0,08	27	40	4	4	15
Santander	1	1,01	0,10	2,43	0,24	0,09	0,11	35	22	6	10	9
	2	1,10	0,10	1,98	0,28	0,10	0,11	39	32	5	7	7
	3	1,38	0,12	2,26	0,23	0,11	0,11	30	15	6	6	5
	4	1,34	0,10	2,31	0,32	0,07	0,06	34	24	7	8	8
	5	1,20	0,12	2,18	0,32	0,11	0,05	31	36	6	10	8
	6	1,36	0,12	2,38	0,27	0,12	0,05	24	29	6	7	8
Promedio	1,23	0,11	2,26	0,28	0,10	0,08	32	26	6	8	8	

concentración de los elementos consignados en la Tabla 3, y de acuerdo con el contenido de humedad de las muestras y los factores de conversión estimados por Uribe (11) y Montilla (8), se calculó la cantidad extraída de cada nutriente por el fruto.

En las Tabla 5 y 6 se muestran las cantidades extraídas de macro y micronutrientes, respectivamente, por cada una de las partes que componen el fruto del café, equivalentes a 1.000kg de café almendra, con 11% de humedad, es decir 1.250kg (100 arrobas) de café pergamino seco (c.p.s.).

Cabe aclarar que en la Tabla 5 los valores de extracción para fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre se presentan tanto en su forma elemental como en forma de óxidos. Lo anterior se debe al hecho que esta información se emplea principalmente

para determinar los planes de fertilización de los cultivos, con el empleo de fuentes cuya concentración de nutrientes se expresa en forma de óxido.

Con relación a los elementos calificados como primarios dentro de los macronutrientes (N, P y K), el valor promedio de la extracción para el K fue superior a la del N; mientras que el P se absorbió en una relación diez veces menor que el N y 16 veces menor que el K. En cuanto a la extracción de los macronutrientes secundarios, el Ca se destacó por presentar un promedio más alto, la concentración de Mg fue igual a la del P, pero superior a la de S. Referente a los elementos menores, la toma de estos nutrientes por los frutos presentó el siguiente orden: Fe>Mn>B>Cu>Zn (Tabla 6). En el mismo sentido, Malavolta citado por la IFA (7) reporta la siguiente secuencia en la

Tabla 5. Cantidades de macronutrientes extraídos (kg) por las partes que componen el fruto de café, equivalentes a 1.000kg de café almendra.

Parte del fruto	Nitrógeno		Fósforo		Potasio		Calcio		Magnesio		Azufre	
	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Ca	CaO	Mg	MgO	S	SO ₄	
Café almendra	16,79	1,39	1,80	12,40	14,89	1,61	2,25	1,47	2,45	0,99	2,96	
Pulpa	11,50	0,70	0,90	22,31	26,80	1,76	2,46	0,57	0,94	0,13	0,40	
Pergamino	0,96	0,02	0,03	0,60	0,72	0,42	0,60	0,11	0,18	0,09	0,27	
Mucilago	1,70	0,15	0,19	1,61	1,93	0,47	0,65	0,11	0,18	0	0	
Total	30,94	2,26	2,92	36,92	44,34	4,26	5,96	2,26	3,75	1,21	3,63	

Tabla 6. Cantidades totales de micronutrientes extraídos (g) por las partes que componen el fruto de café, equivalentes a 1.000kg de café almendra.

Parte del fruto	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Café almendra	33,06	37,61	7,38	12,26	10,05
Pulpa	28,97	16,38	4,43	16,25	34,97
Pergamino	7,53	4,01	1,29	1,81	1,32
Mucilago	37,73	3,36	4,66	2,70	3,45
Total	107,29	61,36	17,76	33,02	49,79

absorción: $K_2O > N > CaO > P_2O_5 > MgO > S > Fe > Zn > B > Mn > Cu > Mo$.

En total se extrajeron cerca de 78 kilogramos de nutrientes minerales (en su forma elemental) por cada 100 arrobas de c.p.s., así: almendra 35kg, pulpa 37kg, pergamino 2kg y mucílago 4kg; cantidades que representan la siguiente distribución porcentual: almendra 44,9%, pulpa 47,4%, pergamino 2,6% y mucílago 5,1%.

Las cantidades extraídas por la almendra, el pergamino y el mucílago son removidas del lote, mientras que en el caso de la pulpa pueden retornar al cultivo cuando se emplea como abono orgánico. En este sentido, 1.000kg de pulpa fresca pueden aportar las siguientes cantidades de nutrientes: 3,76kg de N; 0,52kg de P_2O_5 ; 8,75kg de K_2O ; 0,80kg de CaO; 0,31kg de MgO y 0,13kg de SO_4 . Carvajal (2), reporta valores comparables para el N (3,74kg), K_2O (7,02 kg) y P_2O_5 (0,88kg). Al respecto, cabe aclarar que pueden ocurrir pérdidas de elementos después del despulpado, ya que la pulpa en su rápida descomposición libera una solución acuosa rica en nutrientes, especialmente K.

En cuanto a la cantidad de nutrientes extraídos específicamente por la almendra, los promedios encontrados en este estudio para algunos elementos se pueden considerar ligeramente inferiores a los registrados en la literatura y recopilados por la IFA (7); diferencia que puede deberse a factores como el genotipo evaluado y las condiciones de suelo y clima. Como se aprecia en la Tabla 7, la extracción de nutrientes por la almendra del café puede variar parcialmente en las diferentes regiones de la zona cafetera colombiana, consecuencia de la variabilidad de los factores mencionados. Se distinguen, por ejemplo, las muestras provenientes de Cesar por sus bajas extracciones de N, P, Mg y Fe; mientras que en las muestras analizadas de

Huila son bajas en Ca y B, pero muy altas en Mn, lo cual puede deberse a la fertilidad del suelo. Con relación a lo anterior, se resalta el hecho que el contenido de los elementos en el grano puede eventualmente afectar la calidad de la bebida, otorgándole propiedades organolépticas particulares.

Debido a que la producción de café en Colombia presenta variaciones entre sitios y años, la cantidad de elementos extraídos y removidos también varía de acuerdo con el volumen de café cosechado. En las Figuras 2, 3 y 4 se pueden observar los nutrientes removidos para cosechas de 100 a 400 arrobas de café pergamino seco. Aunque en la realidad no se presenta una relación totalmente directa (proporcional) entre el nivel de producción y la remoción de nutrientes, para fines prácticos no se tienen en cuenta estas pequeñas variaciones. En general, se puede decir que por cada unidad de N la cosecha de café extrae aproximadamente 1,4 unidades de K_2O , 0,2 unidades de CaO y 0,1 unidades de P_2O_5 , MgO y SO_4 .

Extracción de nutrientes por el fruto entero. En las Tablas 8 y 9 se presentan los valores promedios de extracción de nutrientes por cada 1.000kg de café cereza y 1.000kg de café almendra respectivamente, correspondientes a muestras provenientes de las Subestaciones Paraguacito (4 muestras) y Santander (6 muestras). Pueden notarse algunas diferencias frente a las cantidades totales estimadas a partir de la suma de cada una de las partes que componen el fruto (Tabla 5), las cuales estarían asociadas con las condiciones propias de estos sitios.

Finalmente, puede considerarse que cuando en una región cafetera de Colombia, por ejemplo en el municipio de Marquetalia (Caldas), se presenta una condición de baja luminosidad (1.623 horas luz/año) y alta precipitación (3.923mm.año⁻¹), la planta de café invierte

Tabla 7. Cantidades de nutrientes extraídos por 1.000kg de café almendra e intervalos de confianza, IC, ($p<0,05$) por departamento.

Depto.	No. de muestras	Parámetro	(kg)					(g)				
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Antioquia	39	Promedio	15,70	1,50	14,70	2,40	2,60	33,40	42,10	7,10	11,90	9,80
		IC±	0,40	0,06	0,39	0,24	0,10	2,38	3,93	1,65	0,91	0,61
Caldas	118	Promedio	18,10	2,10	14,80	3,90	2,80	37,70	42,40	8,70	14,10	14,80
		IC±	0,39	0,07	0,62	0,31	0,14	3,98	3,25	0,49	0,78	1,11
Cauca	19	Promedio	16,50	1,80	15,40	1,20	2,50	28,60	29,70	5,50	13,60	7,00
		IC±	0,60	0,09	0,51	0,09	0,11	6,74	2,34	0,61	0,53	0,75
Cesar	12	Promedio	14,80	1,20	16,40	1,30	1,90	19,10	25,40	6,40	10,00	10,90
		IC±	0,57	0,05	0,65	0,12	0,12	2,00	2,08	1,99	0,75	4,91
Cundinamarca	16	Promedio	16,00	1,80	13,60	1,50	2,20	30,50	20,50	6,50	10,50	10,10
		IC±	0,26	0,10	1,01	0,28	0,18	3,11	2,86	0,44	0,86	0,78
Huila	22	Promedio	16,60	1,90	14,70	1,00	2,10	25,20	107,70	7,10	11,30	6,10
		IC±	0,24	0,07	0,30	0,06	0,06	3,90	12,92	0,75	0,69	0,93
Magdalena	4	Promedio	16,40	1,80	10,70	1,40	1,60	23,10	19,80	6,00	5,60	9,60
		IC±	1,76	0,14	3,88	0,06	0,14	1,23	5,71	1,31	1,10	0,84
Nariño	12	Promedio	16,50	1,90	15,60	1,30	2,30	40,50	43,80	7,90	11,10	6,20
		IC±	0,36	0,06	0,49	0,07	0,06	2,28	2,42	0,66	0,66	-
N/Santander	26	Promedio	16,60	1,90	15,40	1,30	2,40	25,90	28,00	8,30	14,10	8,50
		IC±	0,34	0,06	0,37	0,10	0,19	2,49	2,91	1,15	0,73	0,56
Quindío	26	Promedio	16,40	1,50	15,40	1,70	2,40	30,70	32,60	6,30	10,90	9,40
		IC±	0,44	0,08	0,73	0,23	0,12	2,95	2,11	1,10	0,62	1,64
Risaralda	45	Promedio	16,60	1,80	16,20	1,80	2,40	31,50	29,90	6,80	12,70	7,50
		IC±	0,30	0,06	0,61	0,18	0,11	5,17	2,70	0,81	0,85	0,82
Santander	10	Promedio	17,20	1,80	13,80	1,10	2,10	34,10	27,50	6,20	8,80	7,70
		IC±	0,67	0,08	0,55	0,15	0,16	4,86	4,36	0,69	1,48	0,52
Tolima	49	Promedio	16,30	1,60	14,50	1,90	2,40	37,20	24,70	6,90	11,60	8,10
		IC±	0,21	0,04	0,63	0,27	0,13	4,94	2,20	0,29	0,48	0,49
Valle	26	Promedio	15,90	1,50	13,60	1,20	2,10	31,60	27,80	6,90	9,30	7,30
		IC±	0,33	0,06	0,36	0,11	0,07	8,66	1,90	0,90	0,88	0,71

Nota: Se emplearon los siguientes factores para convertir la forma elemental a la oxidada: $P \times 1,291 = P_2O_5$; $K \times 1,201 = K_2O$; $Ca \times 1,399 = CaO$; $Mg \times 1,658 = MgO$; $S \times 2,996 = SO_4$.

más cantidad de nutrientes en la formación de hojas que en la producción de frutos, con el fin de incrementar la superficie foliar para capturar una mayor cantidad de energía lumínica. En contraposición a lo anterior, en municipios como Chinchiná (Caldas), caracterizados por una mayor luminosidad

(1.797 horas luz/año) y menor precipitación (2.711mm.año⁻¹), la planta emplea una mayor cantidad de nutrientes para producir frutos que hojas. El anterior comportamiento en la fragmentación de los asimilados, es decir las variaciones en la relación fuente – vertedero, expuesto por Riaño *et al.* (9), explica por

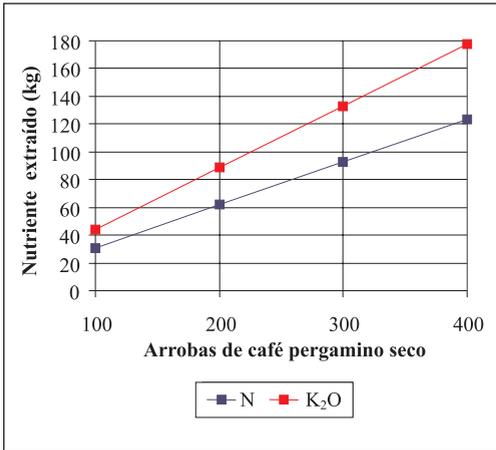


Figura 2. Cantidades estimadas de nitrógeno (N) y de potasio (K₂O) extraídas por cosechas de 100 a 400 arrobas de café pergamino seco (1 arroba=12,5kg).

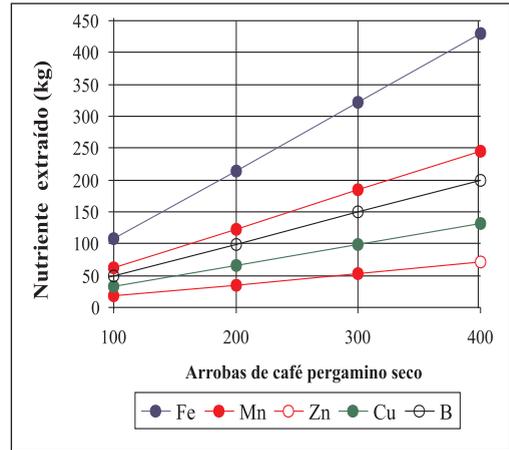


Figura 4. Cantidades estimadas de hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu) y boro (B) extraídas por cosechas de 100 a 400 arrobas de café pergamino seco (1 arroba=12,5kg).

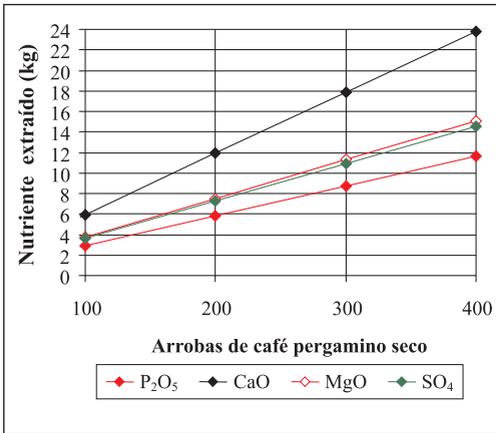


Figura 3. Cantidades estimadas de fósforo (P₂O₅), calcio (CaO), magnesio (MgO) y azufre (SO₄) extraídas por cosechas de 100 a 400 arrobas de café pergamino seco (1 arroba=12,5kg).

qué la acumulación total de la materia seca por planta es similar en sitios contrastantes en su potencial productivo, pero cambia la distribución de los asimilados en los diferentes órganos. Pese a dicha similitud en la cantidad total de nutrientes que pueden extraer plantaciones con diferentes niveles de producción, la cantidad de elementos removida del suelo por una cosecha aumenta conforme al incremento de la producción, puesto que ésta no retorna al suelo a través de los procesos de ciclaje de nutrientes, como ocurre con otros órganos de la planta como las raíces, las hojas y las ramas.

Tabla 8. Cantidades de nutrientes extraídos por el fruto entero de café, equivalente a 1.000kg de café cereza en las Subestaciones Paraguaicito y Santander.

Subestación	N						Fe				
	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄		Mn	Zn	Cu	B	
	(kg)						(g)				
Paraguaicito	4,81	0,49	8,55	1,45	0,63	0,82	8,75	13,20	1,40	1,40	4,95
Santander	4,06	0,47	8,97	1,28	0,55	0,81	10,62	8,69	1,98	2,64	2,48

Tabla 9. Cantidades de nutrientes extraídos por el fruto entero de café, equivalente a 1.000kg de café almen-
dra en las Subestaciones Paraguaicito y Santander.

Subestación	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	Fe	Mn	Zn	Cu	B
	(kg)						(g)				
Paraguaicito	27,05	2,76	48,07	8,18	3,54	4,59	49,19	74,25	7,89	7,89	27,84
Santander	22,86	2,64	50,46	7,19	3,08	4,54	59,71	48,88	11,14	14,85	13,92

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de los doctores Celso Arboleda (Q.E.P.D.), Pedro María Sánchez y Juan Rodrigo Sanz; a los señores Melzar Danilo Santamaría, Lady Juliet Vargas y Albeiro Salazar; así mismo, a la doctora Gabriela Estrada y al doctor Nelson Walter Osorio por sus valiosos aportes.

LITERATURA CITADA

1. CARRILLO P, I.F.; MEJÍA M., B.; FRANCO A., H.F. Manual de laboratorio para análisis foliares. Chinchiná, Cenicafé, 1994. 52 p.
2. CARVAJAL, J. F. Cafeto - Cultivo y fertilización. 2. ed. Berna, Instituto Internacional de la Potasa, 1984. 254 p.
3. CHAVES, J.C.D. Manejo do solo. Adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira. Londrina, Instituto Agronômico do Paraná, 2002. 36 p. (Circular No. 120).
4. COLWELL, J.D. Estimating fertilizer requirements: a quantitative approach. Wallingford, CAB International, 1994. 262 p.
5. GUERRERO R., R. Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos. In: Silva M., F. (Ed.). Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1994. p. 247 – 281.
6. HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River, Prentice Hall, 1999. 499 p.
7. INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION - IFA. Paris, Francia. World fertilizer use manual. París, IFA, 1992. 632 p.
8. MONTILLAP, J. Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2006. 107 p. (Tesis: Ingeniera Agrónoma).
9. RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera Central. Cenicafé 55(4):265-276.2004.
10. RIVERA, R. Metodología para calcular los requerimientos nutricionales del cafeto. Cultivos Tropicales 14 (1):28-34. 1993.
11. URIBE H., A. Constantes físicas y factores de conversión en café. Avances Técnicos Cenicafé No. 65:1-4. 1977.