

Fertilidad y estrategias de fertilización del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas, Venezuela

Fertility and fertilizer strategies for the coffee axis San Agustín – Juasjuillar, municipality Caripe, Monagas state, Venezuela

Renny Barrios Maestre¹; Ramón Silva-Acuña²; Luis Zerpa Evans³; Iván Maza²
y Grecia Romero Martínez²

¹Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) Maturín, estado Monagas. Venezuela. ²Universidad de Oriente (UDO), Maturín, estado Monagas. Venezuela. Correo electrónico: rennybarrios@gmail.com

RESUMEN

El café es el cultivo más importante de la zona alta de los estados Monagas, Sucre y Anzoátegui. La baja productividad nacional (5 qq.ha⁻¹) está asociada al escaso uso de fertilizantes en las plantaciones. Con el objetivo de caracterizar la fertilidad y proponer estrategias de fertilización en el eje cafetalero San Agustín-Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas, se colectaron muestras (profundidades 0-20 cm y 20-40 cm) con fines de fertilidad en 173 fincas comerciales. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del estado Guárico. Se identificaron y descartaron variables con multicolinealidad a través del análisis de correlación. Con el análisis de componentes principales se seleccionaron las variables que aportaron mayor variabilidad y mediante el análisis de agrupamiento jerárquico se definieron cuatro grupos de localidades con condiciones similares de suelos. Las técnicas estadísticas permitieron identificar diez variables que explicaron 73% de la variación en las propiedades químicas de los suelos. En las condiciones del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar es suficiente con evaluar la capa superficial del suelo para diagnosticar la fertilidad. Se requiere un plan de fertilización específico para cada grupo homogéneo de suelos, orientado a corregir los desbalances nutricionales identificados. Todas las fincas demandan dosis de mantenimiento de nitrógeno y dosis correctivas de fósforo, potasio, calcio y magnesio. En la mayoría de las localidades es necesaria la corrección de los tenores de zinc en el suelo, a excepción de las localidades de San Agustín y La Guanota.

Palabras clave: *Coffea arabica*, desbalance nutricional, fertilización, nutrimentos.

Recibido: 17/08/16 Aprobado: 13/12/16

ABSTRACT

Coffee is the most important crop in the upper area of Monagas, Sucre and Anzoátegui. Low domestic productivity (5 qq.ha⁻¹) is associated with low use of fertilizers on plantations. In order to characterize fertility and generate fertilization strategies in the coffee axis San Agustín-Juasjuillar, municipality Caripe, Monagas state, samples with fertility purpose were collected in 173 commercial farms from 0-20 cm and 20-40 cm depths. The samples were processed in the soil laboratory of Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Guárico state. Variables with multicollinearity were identified and discarded through correlation analysis. Variables providing greater variability were selected by principal component analysis. Through hierarchical cluster analysis, four groups of locations with similar soil properties were defined. Statistical techniques allowed identifying ten variables that explain 73% of the variation in the chemical properties of soils. Under the conditions of the coffee axis San Agustín - Juasjuillar, it is sufficient to assess the topsoil to diagnose soil fertility. A specific fertilization plan for each homogeneous group of soils, aimed at correcting the identified nutritional imbalances is required. All farms require maintenance dose of nitrogen and corrective dose of phosphorus, potassium, calcium and magnesium. In most locations correction tenors of zinc in the soil is required, with exception of San Agustín and La Guanota.

Key words: *Coffea arabica*, nutritional imbalance, fertilization, nutrients.

INTRODUCCIÓN

La producción de café constituye una actividad de gran importancia dentro del panorama agrícola del país. El Ministerio del Poder Popular para Agricultura y Tierras señala la existencia de aproximadamente 170.000 hectáreas cultivadas con café, distribuidas en varias zonas de topografía accidentada del territorio nacional (MPPAT 2014).

En el estado Monagas la caficultura ocupa aproximadamente 23.183 ha, particularmente el municipio Caripe posee 13.000 ha, con rendimientos promedios de cinco quintales por hectárea, inferiores al promedio nacional y muy distante del potencial productivo de las variedades actuales (Silva-Acuña *et al.* 2010; Silva-Acuña y Ydrog 2013).

En esta importante región se han identificado como limitantes para la producción los siguientes aspectos: grandes superficies sembradas con cafetos viejos; carencia de planes coherentes de apoyo al desarrollo cafetalero; carencia de planes de fertilización debido a las limitaciones para diagnósticos nutricionales confiables, así como la falta de disponibilidad de fórmulas que cubran los requerimientos del cultivo, los perjuicios económicos causados por la broca del cafeto y el abandono de la caficultura debido a los costos de producción (Silva-Acuña *et al.* 2010; Silva-Acuña e Ydrogo 2013).

La baja productividad de las plantaciones se debe, en gran parte, al exceso o deficiencia de elementos minerales en el suelo. Se sabe que la acidez, alcalinidad, salinidad y erosión promueven la degradación y la baja fertilidad del suelo. El café se caracteriza por promover alta extracción de nutrientes del suelo, lo que requiere la correcta aplicación de enmiendas y fertilizantes para lograr alta productividad. En consecuencia, los suelos con plantaciones de café requieren buenas técnicas de manejo agronómico y de fertilización para lograr la producción en forma sostenible.

Debido a la limitada oferta en el suministro de fertilizantes y al alto costo de adquisición, la mayoría de los agricultores no utilizan fertilizantes, por lo tanto, las fincas dependen de la oferta de nutrientes disponibles en forma natural en el suelo. En los casos donde se usa fertilizantes, se requiere que estos insumos se

apliquen económica y eficientemente, con base a un plan apropiado de fertilización, instituido en la evaluación de la fertilidad del suelo o en el diagnóstico nutricional de las plantas (Farnezi *et al.* 2009).

Por otro lado, el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos puede conducir a la degradación del suelo, ya que se ha asociado con aumento de la acidez intercambiable y con disminución de la capacidad de intercambio catiónico, de la saturación de bases y de los cationes calcio y magnesio. Los dos procesos principales que conducen al aumento de los protones en el suelo son nitrificación y amonificación mediada por las bacterias del suelo, ambos conducen a la acidificación, reforzada por la exportación de bases a partir de la remoción de biomasa a través de la cosecha (Guo *et al.* 2010).

Por lo tanto, la optimización de la eficiencia nutricional es de gran importancia para aumentar la productividad, especialmente en suelos tropicales. Fageria (1998) destaca que, en la agricultura moderna, el costo de fertilización contribuye, en promedio, con 30% del costo de producción total y la eficiencia de recuperación de nutrientes aplicados como fertilizante es baja: aproximadamente 50% de N, menos de 10% para P y 40% para K.

Las recomendaciones de fertilización de un cultivo dependen de las exigencias nutricionales de las plantas para el crecimiento vegetativo-reproductivo y de la eficiencia de utilización de los fertilizantes aplicados y la fracción de los nutrientes suministrados por el suelo (Amaral *et al.* 2011). El enfoque de agricultura de precisión considera el tratamiento diferencial de áreas seleccionadas de campos de producción en función de su variabilidad interna e involucra un proceso de investigación y diagnóstico (Valente *et al.* 2012).

Oliveira *et al.* (2008) constataron que la aplicación de fertilizantes y enmiendas en tasas variables, en áreas específicas de suelos, minimizaron los costos de producción y mejoraron la eficiencia de uso de insumos agrícolas en plantaciones de cafeto. Molinet *et al.* (2010), demostraron que, en una zona cafetalera donde se aplicaron fertilizantes fosfatados y potásicos a tasas variables, presentó aumento de la productividad y reducción en el consumo de insumos, al ser

comparada con áreas que recibieron tasas fijas de fertilización. Ferraz *et al.* (2015) constataron que la aplicación de insumos a tasas variables puede contribuir a la reducción de costos de producción del cultivo de café.

Dada la importancia económica, la superficie cultivada y la heterogeneidad espacial de las zonas cultivadas con café en el eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar del municipio Caripe, estado Monagas, el presente trabajo estuvo dirigido a caracterizar la fertilidad de los suelos y a proponer estrategias de fertilización particulares en función de la similitud de las diferentes localidades ubicadas en dicho eje.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de muestreo correspondió al eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar, que representa el área de mayor importancia de la caficultura del municipio Caripe del estado Monagas, e involucró los caseríos: San Agustín, la Guanota, Altamira, Monagal, Corozal, Culantrillal, Barrio Colorado, las Cinco Cruces y Juasjuillar. El clima de la zona está clasificado como bosque húmedo premontano, con temperaturas que oscilan entre 12 y 24° C, la precipitación es del orden de 1124 mm como promedio anual y la altitud es de 1050 m.s.n.m. (MARNR 1997).

Los suelos donde se desarrolló el estudio están ubicados dentro del paisaje montañoso de la Serranía del Turimiquire. Son suelos pocos evolucionados y fértiles que se clasifican como Ustepts-Orthents, moderadamente profundos y algunas veces vinculados con afloramientos rocosos, con pendientes entre 45-60% y superiores al 60%; vocación de uso para plantaciones agrícolas, actualmente con cultivos permanentes (café bajo sombra y cítricos) con tendencia a ser desplazados por cultivos hortícolas intensivos.

Se realizó un muestreo estratificado a las profundidades de 0 – 20 cm y 20 – 40 cm a lo largo del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar (Figura 1), en este se tomaron muestras de suelos con fines de fertilidad en 173 unidades de producción. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) del estado Guárico. Se efectuaron determinaciones de la

disponibilidad de fósforo y potasio por Olsen (Olsen y Dean 1965), calcio y magnesio por el método de Morgan (Morgan 1937), los micronutrientes cobre, hierro, manganeso y zinc por espectrofotometría de absorción atómica, la conductividad eléctrica y el pH 1:2,5 con potenciómetro.

Los datos fueron tabulados y sometidos a análisis exploratorio para reconocer valores atípicos. Posteriormente se realizó un análisis de correlación lineal de Pearson a fin de identificar y descartar variables que pudieran haber generado información redundante. El resto de las variables fueron estandarizadas ($x=0$; $s^2=1$) y utilizadas en el análisis de componentes principales, para definir cuales de estas aportaron la mayor variabilidad; en referencia a las que presentaron los autovalores más elevados y las mayores proporciones de la varianza total explicadas en los distintos componentes identificados.

A partir de las variables retenidas se realizó un análisis de agrupamiento jerárquico, con la distancia euclídeana promedio para la conformación de los grupos. El corte que definió el número de grupos del dendrograma fue por el método visual, donde se especifica el nivel de agrupamiento por conveniencia (Albuquerque 2005; Barroso y Artes 2003), eligiéndose como punto de corte la distancia euclídeana promedio de 2,1. Posteriormente se procedió a analizar las características físicas de cada uno de los grupos identificados. Los datos fueron procesados a través del InfoStat® (Di Renzo *et al.* 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores plasmados en los análisis de suelo contenían un conjunto de 20 variables químicas, que incluían las dos profundidades evaluadas. El análisis de correlación condujo a la exclusión de las variables pH, fósforo, magnesio y zinc de la profundidad 20–40 cm, por estar altamente correlacionadas con la misma variable de la profundidad 0–20 cm.

El análisis de componentes principales estuvo orientado a reducir la dimensionalidad del conjunto de datos evaluados en el sector cafetalero. En el eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas, la determinación de los componentes principales permitió seleccionar cinco vectores de

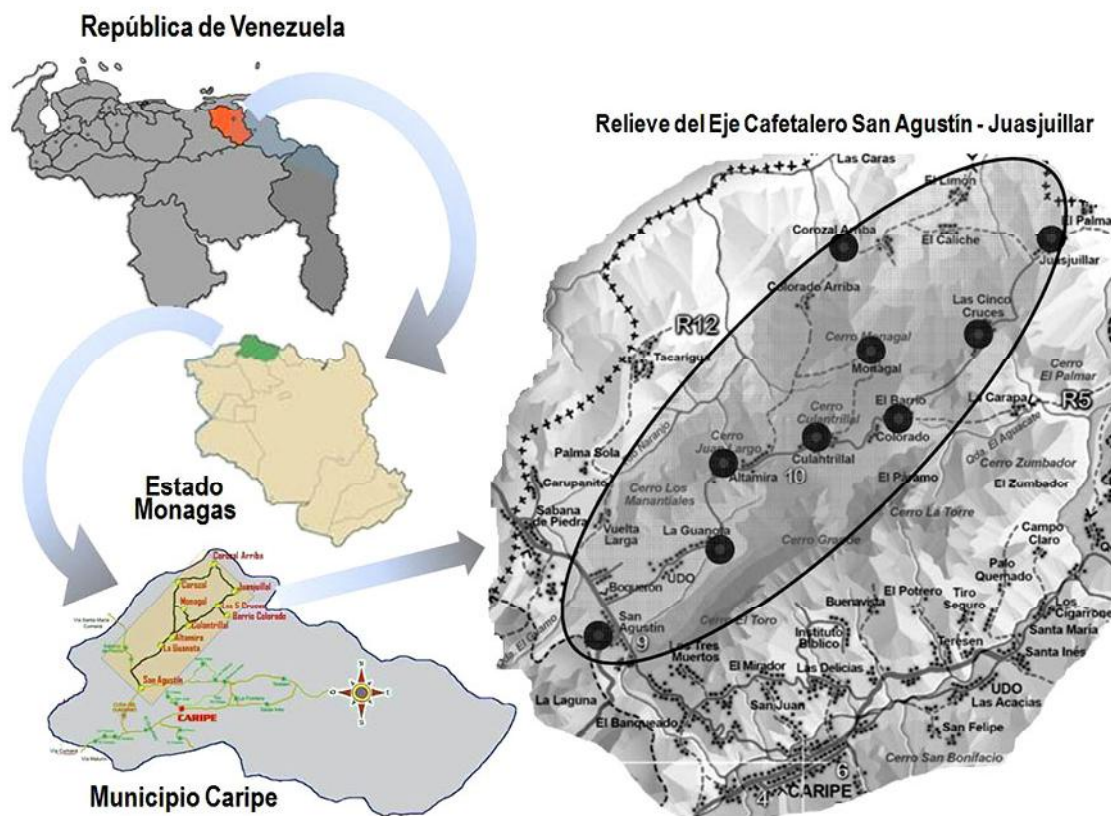


Figura 1. Ubicación relativa de las localidades evaluadas en el eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas.

autovalores de alto rango, que explicaron el 73% de la varianza total observada en el conjunto de datos (Cuadro 1); esto redujo significativamente el número de variables mantenidas para el análisis de conglomerados. Diversos estudios han mostrado el potencial de esta técnica de análisis para datos de suelos que contienen gran número de variables (Araújo *et al.* 2012; Payé *et al.* 2012; Barbosa *et al.* 2012).

El Cuadro 1 muestra las variables con mayores pesos en los componentes principales derivados de las propiedades químicas evaluadas, a partir de los cuales se explicó 73% de la varianza acumulada, inferior a los valores encontrados por Garzón *et al.* (2010) en la caracterización de las propiedades químicas de un Entisol de la zona cafetalera colombiana, quienes explicaron el 84,2% de la variación total a partir de tres componentes principales; mientras que Delalibera *et al.* (2012), a través de cuatro componentes principales, explicaron el 65% de

la variabilidad de diferentes zonas agrícolas de la región de Ponta Grossa del estado de Paraná, Brasil.

El análisis de componentes principales condujo a la exclusión de casi todas las variables de la profundidad 20-40 cm, a excepción las variables potasio y conductividad eléctrica. Los tres primeros componentes estuvieron relacionados con el contenido de nutrimentos a la profundidad de 0-20 cm. El primer componente englobó el contenido de calcio, magnesio y de hierro; el segundo componente se vinculó con el contenido de fósforo, cobre y zinc; el tercer componente estuvo enlazado con la concentración de potasio; mientras que el cuarto y el quinto componente con la conductividad eléctrica y con el contenido de potasio a la profundidad de 20-40 cm, respectivamente.

Cabe destacar que López *et al.* (2008) recomiendan muestrear de 0 a 20 y de 20 a 40 cm para cultivos arbóreos como el café,

Cuadro1. Variables con mayores pesos en cuatro componentes principales de propiedades químicas de suelos del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas.

Variable	Profundidad	Componente Principal				
		1	2	3	4	5
Fósforo	0 – 20	0,31	0,40	- 0,21	0,26	- 0,24
Potasio	0 – 20	0,20	0,11	0,52	- 0,09	- 0,18
Potasio	20 – 40	0,18	- 0,01	0,40	0,33	0,47
Calcio	0 – 20	0,44	- 0,23	- 0,23	- 0,04	0,02
Magnesio	0 – 20	0,40	- 0,26	- 0,06	- 0,22	0,06
Hierro	0 – 20	- 0,42	0,13	0,03	0,02	0,14
Cobre	0 – 20	- 0,03	0,42	- 0,08	- 0,34	0,32
Zinc	0 – 20	0,32	0,41	- 0,25	0,21	- 0,16
Manganeso	0 – 20	0,20	- 0,01	0,24	- 0,48	0,18
Conductividad Eléctrica	20 – 40	0,19	- 0,04	0,13	0,52	0,40
Autovalor		2,63	2,07	1,58	1,33	1,09
Proporción de la Varianza (%)		20,0	16,0	14,0	12,0	11,0
Varianza Acumulada (%)		20,0	36,0	50,0	62,0	73,0

a fin de detectar factores del subsuelo que pudieran afectar el desarrollo radical y por ende la absorción de agua y nutrimentos. Los resultados indican que, bajo las condiciones del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar es suficiente con evaluar la capa superficial del suelo para tener un diagnóstico preciso acerca de la fertilidad de los suelos.

En tal sentido, Maluf *et al.* (2015) observaron que los principales cambios en las propiedades químicas ocurrieron en las primeras capas de suelos cafetaleros y fueron más notorios sobre las líneas de siembra del café; por tal razón, recomendaron el diagnóstico de fertilidad en muestras entre 0 y 20 cm del perfil del suelo.

Por su parte, Lince *et al.* (2015), al evaluar la zona cafetera central de Colombia, encontraron que las concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ en la fase de cambio y la solución del suelo no presentaron diferencia estadística en los primeros 30 cm del perfil; salvo algunas excepciones, donde la concentración fue mayor en los primeros 5 cm

de profundidad, atribuyéndolo a la actividad orgánica en la rizosfera.

Grupos homogéneos de fertilidad de suelos

La aplicación del análisis de conglomerados, con la utilización de las variables de mayor peso en cada uno de los componentes principales identificados, permitió distinguir cuatro grupos con propiedades químicas similares utilizando como índice de similitud la distancia euclídea promedio de 2,1. La Figura 2 muestra el dendrograma correspondiente a las diferentes localidades evaluadas en el eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar. El agrupamiento estuvo relacionado con la cercanía entre las localidades, que a su vez refleja la similitud espacial de los atributos naturales de suelo en función del material de origen y las características de manejo particulares de cada localidad.

Slagle *et al.* (2004) indican que la concentración de macro y micronutrimentos en los suelos está fuertemente relacionada con los procesos biológicos y ciclos geoquímicos, los cuales

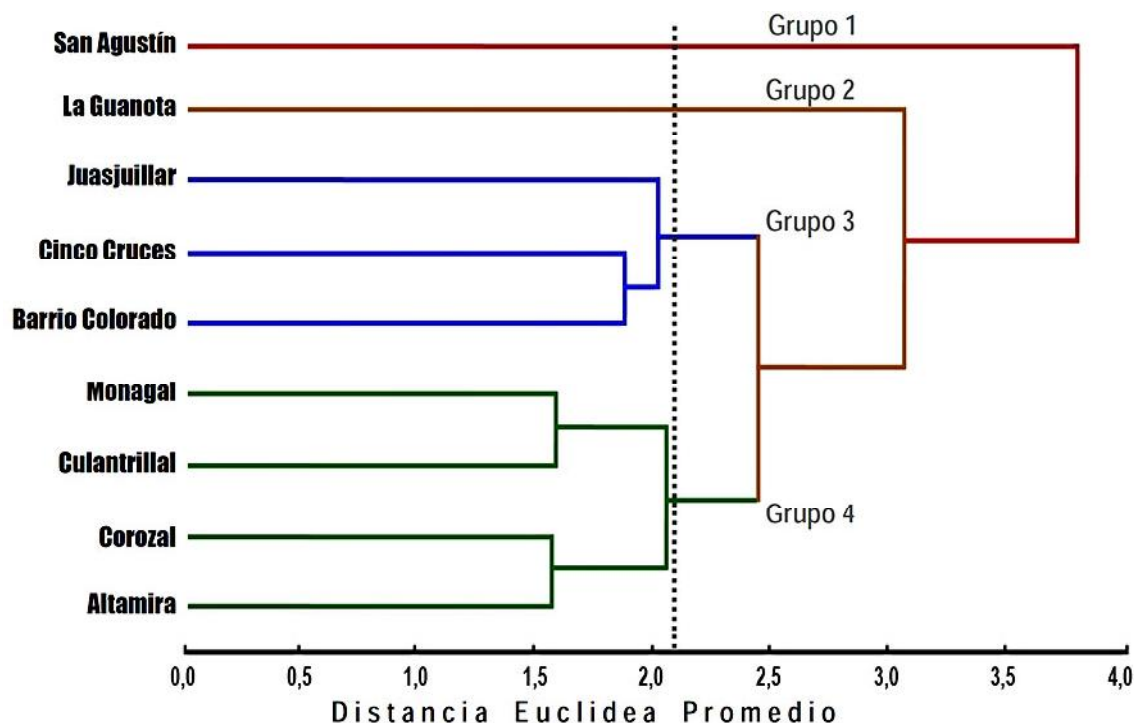


Figura 2. Dendrograma de agrupamiento por similitud de propiedades químicas de suelos de las localidades del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas.

son más parecidos en función de su cercanía espacial debido a la similitud en las condiciones físicas y microclimáticas. Estos procesos son afectados por factores antropogénicos como la deforestación y el manejo agronómico del cultivo.

El Cuadro 2 muestra el resumen de las propiedades químicas de suelos de grupos similares conformados en el análisis jerárquico. De acuerdo a los criterios propuestos por Warrick y Nielsen (1980), las variables potasio y conductividad eléctrica presentaron coeficientes de variación medios; mientras que el resto de las variables presentaron altos coeficientes de variación.

Resultados semejantes fueron encontrados por Santos *et al.* (2015) en el estudio de variabilidad de macronutrientes en plantaciones de café Conilón y por Bottega *et al.* (2013) para todos atributos químicos de suelos del cerrado brasileiro. Estos coeficientes de variación son similares a los reportados por Lince *et al.* (2015), Sadeghian y Zapata (2012), Lince y Sadeghian (2012) y Henao y Hernández (2002); para suelos

de la zona cafetera colombiana; y por Silva y Lima (2012) para suelos de la zona cafetera brasileira.

Debido a la falta de asesoría técnica y de apoyo financiero, la mayoría de los productores de café del municipio Caripe aplican poco o nada de fertilizantes minerales en sus plantaciones (Silva-Acuña *et al.* 2010). Los nutrientes absorbidos por las plantas de café son removidos de las plantaciones de forma continua por la cosecha del cultivo (alrededor de 105 kg.ha⁻¹ de N, 13 kg.ha⁻¹ de P, 107 kg.ha⁻¹ de K, para la producción de 1000 kg.ha⁻¹.año⁻¹ de granos de café verde), que aunado a las pérdidas por erosión, conducen a fuertes desbalances nutricionales en los campos de café (Van der Vossen 2005).

En general, los suelos del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar presentaron desbalances nutricionales que ameritan la aplicación de fertilizantes y enmiendas para garantizar la producción sostenible del cultivo.

Urbani (2005) señala que los suelos de Caripe y sus alrededores están derivados de calizas (rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico

Cuadro 2. Propiedades químicas de suelos de grupos similares conformados por localidades del eje cafetalero San Agustín Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas, Venezuela.

Grupo	Localidades	N	Estadístico	Fósforo			Potasio			Calcio	Magnesio	Cobre	Hierro	Zinc	Manganeso	C. E. 20-40 cm	
				0-20 cm (mg.kg ⁻¹)	20-40 cm (mg.kg ⁻¹)	0-20 cm (mg.kg ⁻¹)	0-20 cm (mg.kg ⁻¹)	20-40 cm (mg.kg ⁻¹)	0-20 cm (mg.kg ⁻¹)								0-20 cm (mg.kg ⁻¹)
1	San Agustín	5	Promedio	104,60	69,00	45,20	541,00	37,80	1,50	57,58	21,48	9,16	0,08				
			Nivel	A	M	B	A	B	MA	MA	MA	MA	MA	B			
			Desviación	57,82	43,02	19,41	449,28	26,18	1,34	75,24	11,99	6,22	0,04				
			CV	55,3	62,3	42,9	83,0	69,2	89,6	130,7	55,8	67,9	46,6				
2	La Guanota	20	Promedio	24,45	60,95	39,20	919,70	90,25	0,34	18,53	8,77	11,62	0,15				
			Nivel	M	M	B	A	M	MB	MA	MA	MA	MA	B			
			Desviación	28,61	21,02	12,11	565,24	36,05	0,20	20,28	11,03	17,33	0,09				
			CV	117,0	34,5	30,9	61,5	39,9	59,9	109,5	125,7	149,1	59,0				
3	Juasjuillar Cinco Cruces Barrio Colorado	67	Promedio	5,43	56,07	39,36	489,33	72,24	0,58	129,34	2,20	12,85	0,06				
			Nivel	MB	M	B	A	M	B	MA	M	M	MA	B			
			Desviación	2,35	21,24	17,31	483,23	60,71	0,30	97,36	1,60	15,98	0,03				
			CV	43,3	37,9	44,0	98,8	84,0	51,2	75,3	72,5	124,4	46,2				
4	Monagal Culantrillal Corozal Altamira	80	Promedio	12,35	71,24	52,99	475,48	61,89	0,61	110,78	1,98	15,99	0,09				
			Nivel	B	M	M	A	M	B	MA	M	M	MA	B			
			Desviación	28,21	33,86	23,45	476,28	43,55	0,78	91,97	2,51	23,93	0,04				
			CV	228,4	47,5	44,3	100,2	70,4	126,4	83,0	126,6	149,7	47,5				

MB = Muy bajo; B = Bajo; M = Medio; A = Alto; MA = Muy alto.

Inferior), en consecuencia, los tenores de calcio del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar son altos, con un rango de 475 a 920 mg.kg⁻¹, lo cual contribuye con los desbalances nutricionales debido a su interferencia con la absorción de fósforo, magnesio y zinc. Silva *et al.* (2013) señalan que el desequilibrio nutricional de las plantas de café puede conducir a una disminución en el rendimiento debido a la pérdida de granos por malformación y por desprendimiento de granos verdes.

Las fincas cafetaleras ubicadas en la localidad San Agustín fueron las que presentaron la mejor condición nutricional a lo largo del eje. Dicho grupo presentó tenores altos de fósforo (104,6 ppm) y medios de potasio a ambas profundidades evaluadas (69 y 45,2 ppm, respectivamente); tenores medios de cobre (1,5 ppm) así como, bajos tenores de magnesio (37,8 ppm) y de manganeso (9,16 ppm).

Wang *et al.* (2015) encontraron varias propiedades del suelo correlacionadas con el rendimiento de café, dentro de las que destacan el contenido de P y K, asociados al agotamiento y consecuente deficiencia de dichos nutrimentos en el suelo, como principales limitaciones para la producción de café en Uganda.

El fósforo tiene gran importancia en las fases iniciales de desarrollo de las plantas de café. En condiciones de niveles insuficientes, se afecta la absorción, transporte y metabolismo de otros elementos esenciales que son necesarios durante otras fases de crecimiento y desarrollo del cultivo (Lima *et al.* 2015). Por su parte, el potasio tiene implicaciones fundamentales para la producción de frutos de café, especialmente en la regulación de la pérdida de agua, llenado del fruto y maduración (Lince *et al.* 2015).

La disponibilidad de fósforo (P) en solución depende de varios factores que gobiernan principalmente los procesos de adsorción y desorción de este elemento. Aunque no existe un equilibrio dinámico entre las fases sólidas y la solución del suelo, la retención de P se ve favorecida en la fase sólida por el alto grado erosión de los suelos, lo que resulta en concentraciones de P insuficiente en solución para satisfacer requerimientos de la planta (Silva y Soares 2014). Henríquez (2015) encontró que cuando se fertiliza el cultivo de café se inducen

niveles altos de fósforo en la fracción lábil del suelo, mejorando la condición nutricional del cultivo.

El cobre es un microelemento esencial de los procesos fisiológicos y metabólicos tanto en las hojas como en el grano verde, mientras que Mn, Zn y Fe son microelementos críticos durante la fotosíntesis. Ngugi *et al.* (2016) afirman que todos los microelementos fueron cruciales en la determinación de los factores de productividad y de calidad de granos; Zn y Mn fueron los más importantes durante el desarrollo del fruto. El Mn del suelo afectó positivamente los atributos de sabor y aroma a nivel de taza, mientras que el boro y el zinc influyeron positivamente las concentraciones de trigonelina y cafeína a nivel de grano.

El grupo conformado por la localidad de La Guanota presentó tenores medios de fósforo (24,5 ppm) potasio medio a la profundidad de 0 - 20 cm (61 ppm) y bajo a la profundidad de 20 - 40 cm (39,2 ppm). Las fincas ubicadas en este sector presentaron los niveles más elevados de calcio (919,7 ppm) y magnesio (90,3 ppm) a lo largo del eje cafetalero; y también los mayores valores de conductividad eléctrica (0,15 dS.m), sin representar un problema para la producción debido a que no hay sales en exceso (Valente *et al.* 2012; Briceño *et al.* 2011). Por el contrario, este sector presentó tenores muy bajos de cobre (0,34 ppm) y bajos de hierro (18,5 ppm).

El magnesio está involucrado en muchos procesos fisiológicos y bioquímicos; es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de la planta, desempeña un papel clave en los mecanismos de defensa de las plantas en situaciones de estrés abiótico. La función más conocida en las plantas es su papel como el átomo central de la molécula de clorofila en el complejo absorbente de la luz de los cloroplastos y su contribución a la fijación fotosintética de dióxido de carbono y la absorción-utilización del nitrógeno (Senbayram *et al.* 2015; Gerendás y Fühns 2013; Cakmak y Yazici 2010).

El magnesio es un elemento muy móvil en los suelos debido a su relativa debilidad de enlaces con las cargas del suelo; además, el calcio y el potasio pueden interferir en su absorción, bien sea a bajas concentraciones en la solución del

suelo (Fageria 2009) o por altas concentraciones (Granssee y Führes 2013; Diem y Godbold 1993), por lo cual se genera abundancia relativamente elevada en la solución del suelo y mayores riesgos de lixiviación. En consecuencia, debe prestársele atención especial al suministro de fertilizantes a base de magnesio en plantaciones de café, ya que la disponibilidad de fuentes comerciales está bien limitada en el país.

El grupo conformado por las localidades Juasjuillar, Cinco Cruces y Barrio Colorado se distingue de los demás por presentar los tenores más bajos de fósforo de todo el eje cafetalero evaluado, ubicado dentro del rango muy bajo (5,4 ppm) y, además, tenores medios de zinc (1,6 ppm), que por su antagonismo, induce deficiencias de fósforo en las plantaciones. Los tenores de potasio son medios (56 ppm) a la profundidad de 0 – 20 cm y bajos (39,4 ppm) a la profundidad de 20 – 40 cm. Este grupo ostentó los niveles más elevados de hierro (129,3 ppm). Por su parte, el grupo conformado por las localidades Monagal, Culantrillal, Corozal y Altamira mostró valores intermedios para casi todas las variables, a excepción de los tenores bajos de fósforo (12,4 ppm), y de zinc (1,98 ppm) y tenores altos de hierro con concentración de 110,8 ppm.

Scalco *et al.* (2014) reportaron problemas con la nutrición de zinc a medida que se incrementaron las dosis de fósforo en el cultivo de café, asociado al efecto antagonista sobre la absorción y la dilución mediante el aumento vegetativo.

Tomaz *et al.* (2011) señalan que las áreas con altos niveles de Zn tienen la mayor producción de cerezas frescas y café verde. El Zn es muy demandado para la síntesis de los aminoácidos esenciales que son precursores del ácido indol acético (IAA), que induce la elongación de las ramas. La deficiencia de zinc causa la reducción de los entrenudos, hojas más pequeñas, la formación de rosetas, baja producción de materia seca, afecta el llenado, tamaño del grano y en consecuencia el rendimiento final.

Sadeghian y Salamanca (2015) encontraron que la concentración de los micronutrientes en el fruto disminuyó durante los primeros cuatro meses después de la floración, resultado que se asoció con un efecto de dilución en respuesta al crecimiento del fruto. La tendencia en la acumulación de los micronutrientes se asemejó al crecimiento del fruto, presentando el siguiente orden: Mn>Fe>B>Cu>Zn. No se encontró una relación clara entre las variaciones de los micronutrientes foliares y su demanda por los

Cuadro 3. Relaciones entre nutrimentos en cuatro grupos homogéneos de suelos del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas, Venezuela.

Grupo	Localidades	Relación Ca:Mg	Relación Mg:K	Relación Ca:K	Relación Ca+Mg:K	Relación Fe:Mn	Relación P:Zn
1	San Agustín	14,3	0,5	7,8	8,4	6,3	4,9
2	La Guanota	10,2	1,5	15,1	16,6	1,6	2,8
3	Juasjuillar Cinco Cruces Barrio Colorado	6,8	1,3	8,7	10,0	10,1	2,5
4	Monagal Culantrillal Corozal Altamira	7,7	0,9	6,7	7,5	6,9	6,2
	Relación ideal	3 a 6	8 a 10	15 a 30	20 a 40	5 a 10	10
	< Ideal □ Deficiencia	Ca	Mg	Ca	Ca y Mg	Fe	P
	> Ideal □ Deficiencia	Mg	K	K	K	Mn	Zn

frutos. A excepción de Mn, no se detectó efecto de la fertilidad del suelo en la concentración de los elementos en el fruto o en la hoja.

Balance nutricional y plan de fertilización

El estudio de las relaciones entre nutrimentos en los cuatro grupos homogéneos de suelos del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar (Cuadro 3) ratificó los fuertes desbalances nutricionales existentes cuando se comparan con las relaciones ideales propuestas por Malavolta (2006). Se observa que en todos los suelos de las localidades evaluadas hay deficiencias inducidas de magnesio, bien sea por exceso de calcio, por el exceso de potasio, o de ambos. Así mismo, la relativa abundancia de potasio en los suelos también conduce a deficiencias de calcio en todas las localidades, exceptuando las fincas pertenecientes al sector La Guanota.

Malavolta (2006) señala que relaciones Ca: Mg de 4,49: 1 proporcionan mayor producción de café; sin embargo, cuando el valor es más alto que este, esta producción se reduce significativamente. Correa *et al.* (2007) sostienen que este fenómeno es debido al hecho de que el exceso de Ca en la solución del suelo, dificulta la absorción del Mg por las plantas.

Por otro lado, todas las localidades presentaron desbalances en la relación P: Zn, la cual se encuentra por debajo de la relación ideal, induciendo deficiencia generalizada de fósforo que debe ser corregida a través de la fertilización.

En referencia a la relación Fe:Mn, se obtuvo una relación adecuada para las localidades San Agustín (Grupo 1) y las localidades Monagal, Culantrillal, Corozal y Altamira (Grupo 4), en tanto que la localidad de La Guanota (Grupo 2) tiene una relación baja asociada a los bajos tenores de hierro en los suelos; mientras que las localidades Juasjuillar, Cinco Cruces y Barrio Colorado (Grupo 3) tienen una relación muy cercana a la ideal, con tendencias a deficiencias de manganeso inducida por altos tenores de hierro en el suelo.

Farnezi *et al.* (2009) identificaron al potasio, el calcio y el zinc como los nutrimentos más limitantes para la producción cafetalera, ya que mostraban las frecuencias más altas de deficiencias en las plantaciones. Por su parte, Martínez *et al.* (2000) encontraron que los

nutrientes de mayor desequilibrio en Patrocinio - MG, fueron zinc, cobre y manganeso. El zinc faltaba en el 28% de las plantaciones de baja productividad, sin observar deficiencias en plantaciones de alto rendimiento, mientras que el cobre fue limitante en el 35% de las plantaciones de baja productividad y 20% en las de alta productividad. Se observó además que el manganeso fue asociado a 21% de las plantaciones de baja productividad y al 13% de alta productividad.

En función de lo anteriormente descrito, el eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar requiere un plan de fertilización específico para cada grupo homogéneo de suelos, orientado al mantenimiento nutricional de las plantaciones y a corregir los desbalances nutricionales identificados. A pesar de que los suelos de la zona tienen tenores de materia orgánica medios a altos (Barrios *et al.* 2016), debe aplicarse una fertilización nitrogenada de 60 g por planta, dividida en tres aplicaciones a lo largo del año para todos los grupos de suelos.

Para la localidad de San Agustín se recomienda la aplicación de 10 g de fósforo y 25 g de potasio por planta, para la localidad de La Guanota se recomiendan 25 g de fósforo y 35 g de potasio por planta mientras que para el resto de las localidades se recomienda la aplicación 30 g de fósforo y 35 g de potasio por planta. La fertilización fosfatada está dirigida a incrementar las relaciones P:Zn, para evitar las interferencias de los niveles relativamente altos de zinc sobre la absorción de fósforo.

A fin de restituir el equilibrio de las relaciones Ca:Mg y Mg:K, es necesaria la fertilización a base de magnesio en todas las localidades evaluadas. En tal sentido, las fincas ubicadas en las localidades de San Agustín y La Guanota requieren de la aplicación de 15 g de magnesio por planta, mientras que para los otros grupos de suelos se recomienda una dosis de 10 g por planta. De igual manera, se recomienda la aplicación interanual de una dosis de calcio de 10 g por planta, para garantizar la nutrición adecuada del cultivo y estabilizar las relaciones Ca:K y Ca+Mg:K.

Por otro lado, se recomienda la aplicación de una dosis de mantenimiento de Bórxax a razón de 5 g por planta para reponer la exportación

de nutrimentos por la cosecha y la aplicación foliar de cobre, a fin de corregir las deficiencias presentes en los suelos del eje cafetalero estudiado.

CONCLUSIONES

Se identificaron cuatro grupos de suelos homogéneos a través de diez variables que explicaron el 73% de la variación en las propiedades químicas de los suelos.

En las condiciones del eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar, es suficiente con evaluar la capa superficial del suelo para tener un diagnóstico preciso acerca de la fertilidad de los suelos.

El eje cafetalero San Agustín – Juasjuillar requiere un plan de fertilización específico para cada grupo homogéneo de suelos, orientado a corregir los desbalances nutricionales identificados. Todas las fincas requieren dosis de mantenimiento de nitrógeno y dosis correctivas de fósforo, potasio, calcio y magnesio.

En la mayoría de las localidades se requiere la corrección de los tenores de zinc en el suelo, a excepción de las localidades de San Agustín y La Guanota. Las fincas ubicadas en la localidad de La Guanota requieren la aplicación de fuentes solubles de hierro.

LITERATURA CITADA

Albuquerque, MA. 2005. Estabilidade em análise de agrupamento (Cluster Analysis). Dissertação (Mestrado em Biometria) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, Brasil. 62 p.

Amaral, J; Prieto, H; Laviola, B; Tomaz, M; Fernandes, E; Cruz, C. 2011. Produtividade e eficiência de uso de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Coffee Science* 6(1):65-74.

Araújo, F; Samuel-Rosa, A; Diniz, R. 2012. Variação das características pedológicas e classificação taxonômica de argissolos derivados de rochas sedimentares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:1-9.

Barbosa, R.; Rosas, M; Azevedo, J; Rosas, M; Alves, J. 2012. Qualidade física de latossolos amarelos sob Plantio direto na

Região do Cerrado Piauiense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:1591-1600.

Barrios, R; Silva-Acuña, R; Romero, G; Maza, I.; Zerpa, L. 2016. Caracterización de propiedades físicas de suelos cultivados con cafeto del municipio Caripe, estado Monagas, Venezuela. *Agronomía Tropical* 66(1-2):155-166.

Barroso, L; Artes, R. 2003. Análise Multivariada. Lavras: UFLA. 157 p.

Bottega, E; Queiroz, D; Carvalho, F; Souza, C. 2013. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agrônômica* 44(1):1-9.

Briceño, F; Fernández, O; Peña, A; Faccin, E. 2011. Evaluación agronómica con técnicas de agricultura de precisión en parcelas de café (*Coffea arabica*) en La cuenca del Rio Castan, estado Trujillo. *Revista Academia* 10:48-69.

Cakmak, I; Yazici, A. 2010. Magnesium - a forgotten element in crop production. *BetterCrops* 94:23-25.

Correa, J; Reis, T; Pozza, A; Guimarães, P; Carvalho, J. 2007. Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros Catuaí vermelho (*Coffea arabica* L.). *Coffee Science* 2(2):159-167.

Delalibera, H; Weirich, P; Nagata, N. 2012. Management zones in agriculture according to the soil and lands cape variables. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal* 32(6):1197-1204.

Di Renzo, JÁ; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2016. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Diem, B; Godbold, D. 1993. Potassium, calcium and magnesium antagonism in clones of *Populus trichocarpa*. *Plant and Soil* 155/156:411-414.

Fageria, N. 1998. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas.

- Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 2(1):6-16.
- Fageria, N. 2009. The use of nutrients in crop plants. CRC Press, Taylor and Francis Group: London. 589 p.
- Farnezi, M; Silva, E; Guimarães, P. 2009. Diagnóstico nutricional de cafeeiros da Região do alto Jequitinhonha (MG): normas DRIS e faixas críticas de nutrientes. Revista Brasileira de Ciência do Solo 33:969-978.
- Ferraz, G; Silva, F; Oliveira, M; Carvalho, R; Souza, R. 2015. Variabilidade espacial da dose de P₂O₅ e K₂O para adubação diferenciada e convencional em lavouras cafeeiras. Coffee Science 10 (3):346-978.
- Garzón, C; Cortés, C; Camacho-Tamayo, J. 2010. Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas en un Entisol. Rev. U.D.C.A Actualidad Divulgación Científica 13(1):87-95.
- Gerendás J; Führs, H. 2013. The significance of magnesium for crop quality. Plant and Soil 368:101-128.
- Gransee, A; Führs, H. 2013. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. Plant and Soil 368:5-21.
- Guo, J; Liu, X; Zhang, Y; Shen, J; Han, W; Zhang, W; Christie, P; Goulding, K; Vitousek, P; Zhang, F. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. Science 327:1008-1010.
- Henao, M; Hernández, E. 2002. Disponibilidad de potássio em solos derivados de cinzas volcánicas y su relación con la nutrición del café en la etapa vegetativa. Cenicafe, 53(4):293-305.
- Henríquez, C. 2015. Efecto del uso del suelo sobre las formas de fósforo de un Andisol. Agronomía Costarricense 39(3):79-85.
- Lima, K; Neto, A; Guimarães, P; Reis, T; Oliveira, C. 2015. Coffee yield and phosphate nutrition provided to plants by various phosphorus sources and levels. Ciência Agrotecnológica, Lavras 39 (2):110-120.
- Lince, L; Sadeghian, S. 2012. Número de muestras simples para el análisis de las propiedades del suelo. Suelos ecuatoriales 42(2):129-137.
- Lince, L; Rodríguez, N; Sadeghian, S. 2015. Disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ em función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 6(1):29-42.
- López, I; Alfonso, N; Gómez, N; Navas, M; Yañez, P. (Compiladores). 2008. Manual de alternativas de recomendaciones de fertilizantes para cultivos prioritarios en Venezuela. 1ª edición. INIA. Serie B, N° 18. 400 pp.
- Malavolta, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Agronômica Ceres. 323 pp.
- Maluf, H; Ghini, R; Melo, L; Silva, C. 2015. Fertilidade do solo e estado nutricional do cafeeiro cultivado em atmosfera enriquecida com CO₂. Pesquisa Agropecuária Brasileira 50 (11):1087-1096.
- MARNR (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables). 1997. Atlas del estado Monagas. Estado Monagas. Venezuela.
- Martínez, H; Souza, R; Alvarez, V; Menezes, J; Oliveira, J; Alvarenga, A; Guimarães, P. 2000. Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Manhuaçu e Patrocínio. Belo Horizonte, Epamig, Boletim Técnico 59, 35 p.
- MPPAT (Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras). 2014. Memoria y Cuenta Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras 2010-2014.
- Molin, J; Araujo, A; Frasson, F; Faulin, G; Tosta, W. 2010. Teste procedure for variable rate fertilizer on coffee. Acta Scientiarum Agronomy, 32(4):569-575.
- Morgan, M. 1937. Chemical and soil diagnosis by the universal soil testing system. Connecticut Agricultural Experiment Station Bulletin 392:129-159.

- Ngugi, K; Aluka, P; Maina, D. 2016. Variation of mineral micronutrient elements in robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) As Measured by Energy Dispersive X –Ray Fluorescence. *ARRB* 9(2):1-13.
- Oliveira, R; Lima, J; Xavier, A; Passos, R; Silva, S; Silva, A. 2008. Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro Conilon. *Engenharia Agrícola* 28(1):176-186.
- Olsen, SR; Dean, LA. 1965. Phosphorus. In Norman, AG. ed. *Methods of soil analysis. Part II. Chemical and microbiological properties.* Madison, US, American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. p. 1035-1049. (Agronomy Monograph 9.2).
- Payé, H; Vargas, J; Bezerra, S. 2012. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:1031-1041.
- Sadeghian, S; Salamanca, A. 2015. Micronutrientes en frutos y hojas de café. *Revista Ceni café* 66(2):73-87.
- Sadeghian, S; Zapata, R. 2012. Propiedades relacionadas con la adsorción de cationes intercambiables en algunos suelos de la zona cafetera colombiana. *Ceni café* 63(2):79-89
- Santos, E; Gontijo, I; Barreto, M; Pereira, A. 2015. Variabilidade espacial de macronutrientes em uma lavoura de café Conilon no Norte do Espírito Santo. *Revista Ciencia Agronômica* 46(3):469-476.
- Scalco, M; Alvarenga, L; Guimarães, R; Dominghetti, A; Colombo, A; Assis, G; Figueiredo, G. 2014. Teores foliares de fósforo e zinco, produtividade e crescimento de café irrigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49(2):95-101.
- Senbayram, M; Gransee, A; Wahle, V; Thiel, H. 2015. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. *Crop & Pasture Science* 66:1219-1229.
- Silva, S; Lima, J. 2012. Multivariate analysis and geostatistics of the fertility of a Humic Rhodic Hapludox under coffee cultivation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36:467-474.
- Silva, S; Soares, J. 2014. Spatial estimation of foliar phosphorus in different species of the genus coffee based on soil properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38:1439-1447.
- Silva, S; Lima, J; Bottega, E. 2013. Yield mapping of arabic coffee and their relationship with plant nutritional status. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13(3):556-564.
- Silva-Acuña, R; Ydrogo F, JO. 2013. La caficultura em Monagas: necesidades, desafíos y la sostenibilidad de sus grêmios cafetaleros (em línea). Consultado 04 abr. 2016 Disponible www.es.slideshare.net/rennybarrios39.
- Silva-Acuña, R; Velásquez, L; Barrios, R. 2010. El status quo de la caficultura en Caripe –Monagas (en línea). Consultado 04 abr. 2016. Disponible www.calameo.com/books/00281388194c01508b3aa
- Slagle, A; Skousen J; Bhumbra, D; Sencindiver, J; McDonald, L. 2004. Trace element concentrations of three soils in central Appalachia. *Soil Survey Horizons* 45(3):73-85.
- Tomaz, M; Martinez, H; Rodriguez, W; Ferrari, R; Pereira, A; Sakiyama, N. 2011. Eficiência de absorção e utilização de boro, zinco, cobre e manganês em mudas enxertadas de cafeeiro. *Revista Ceres* 58:108-114.
- Urbani, F. 2005. Síntesis de la nomenclatura de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela. *IMME* 43(2):1-10.
- Valente, D; Queiroz, D; Carvalho, F; Santos, N; Santos, F. 2012. Definition of management zones in coffee production fields based on apparent soil electrical conductivity. *Scientia Agrícola* 69:173-179.
- Van der Vossen HAM. 2005. A critical analysis of the agronomic and economic sustainability

of organic coffee production. *Experimental Agriculture* 41:449-473.

Wang, N; Jassogne, L; van Asten, PJA; Mukasa, D; Wanyama, I; Kagezi, G; Giller, K. 2015. Evaluating coffee yield gaps and important biotic, abiotic, and management factors limiting coffee production in Uganda. *European Journal of Agronomy* 63:1-11.

Warrick, A; Nielsen, D. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic. 319-44 p.