

## Caracterización de propiedades físicas de suelos cultivados con café del municipio Caripe, estado Monagas, Venezuela

### Characterization of physical properties of soils cultivated with coffee in the municipality of Caripe, Monagas state, Venezuela

Renny Barrios Maestre<sup>1</sup>, Ramón Silva-Acuña<sup>2</sup>, Grecia Romero Martínez<sup>3</sup>, Iván Maza<sup>3</sup> y Luis Zerpa Evans<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), estado Monagas, Venezuela.

<sup>2</sup>Universidad de Oriente (UDO), estado Monagas, Venezuela. \*Correo electrónico: rennybarrios@gmail.com

#### RESUMEN

El café es el cultivo más importante de la Serranía del Turimiquire, principal zona proveedora de agua de la región Nor-Oriental de Venezuela. Con el objetivo de caracterizar las propiedades físicas de los suelos del eje cafetalero San Agustín-Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas, se colectaron muestras inalteradas en 153 fincas comerciales. Las muestras fueron procesadas en laboratorios de suelos de la Universidad de Oriente, Núcleo Monagas y del INIA Guárico. Se determinaron las variables conductividad hidráulica saturada, densidad aparente, densidad real, porosidad total, macroporosidad, granulometría, agregados estables al agua de diferentes diámetros, contenido de humedad y contenido de materia orgánica. Por medio de análisis de correlación lineal se identificaron y se descartaron variables con multicolinealidad. Con el análisis de componentes principales se seleccionaron las variables que aportaron mayor variabilidad y mediante el análisis de agrupamiento jerárquico se definieron seis grupos de localidades con condiciones similares de suelos. Las técnicas estadísticas permitieron identificar siete variables que explicaron el 95% de la variación en las propiedades físicas de los suelos. Entre los criterios de agrupamiento predominaron las relaciones espaciales, la granulometría, la materia orgánica y la estabilidad estructural. Las localidades ubicadas en zonas de laderas presentaron la mayor estabilidad estructural, mientras que las ubicadas en zonas bajas mostraron los mayores niveles de materia orgánica y de arcilla como producto de la acumulación de sedimentos. Las estrategias de manejo deben orientarse a limitar los procesos erosivos mediante la conservación de la cobertura vegetal y de prácticas que acorten la longitud de la pendiente.

**Palabras clave:** degradación, estabilidad estructural, erosión, materia orgánica.

Recibido: 24/04/16 Aprobado: 22/12/16

#### ABSTRACT

Coffee is the most important crop in the highlands of the Turimiquire, main supplier of water in area the North-Eastern Region. Aiming to characterize soil physical properties of coffee axis in San Agustín-Juasjuillar, Caripe – Monagas State, 153 unaltered samples were collected from commercial farms. The samples were processed in the soils laboratories of University of Oriente - Monagas and National Institute for Agricultural Research (INIA) Guárico. The variables determined were saturated hydraulic conductivity, bulk density, particle density, total porosity, macroporosity, particle size, stability to water of aggregates for different diameters, moisture and organic matter content. Multicollinear variables were identified and discarded through the analysis of linear correlation. Using analysing of main components, the variables were selected by principal component analysis variables that provide greater variability, and using hierarchical cluster analysis six groups with similar soil conditions were selected. Statistical techniques allowed the identification of seven variables that explain 95% of the variation in the physical properties of soils. Among the grouping criteria spatial relationships, grain size, organic matter and structural stability were predominant. The hillside areas showed the highest structural stability, while those located in lower areas showed the highest levels of organic matter and clay, as a result of the accumulation of sediment. Management strategies should focus in limiting erosion through conservation of soils and practices that shorten the slope length.

**Key words:** degradation, structural stability, erosion, organic matter.

## INTRODUCCIÓN

Los trópicos húmedos son ricos en carbono y biodiversidad, por lo que atraen la atención mundial debido a la pérdida acelerada que está sufriendo la superficie que ocupan (Tropek *et al.* 2014; Saatchi *et al.* 2011; Strassburg *et al.* 2010). La intervención de estos ambientes, bien sea con fines agrícolas, urbanos o turísticos, han potenciado dramáticamente los procesos erosivos como consecuencia de intensas precipitaciones concentradas en periodos de tiempo relativamente cortos, sobre todo en zonas de laderas (Labriere *et al.* 2015; Lal, 1990).

La región Oriental de Venezuela alberga el sistema de serranías del Turimiquire, que se prolonga a los estados Sucre, Anzoátegui y Monagas, con un conjunto de microcuencas que conforman el sistema hidráulico del Turimiquire; con extensión de 540 mil hectáreas, donde nacen los ríos Manzanares, Guarapiche, Colorado, Guayabo y Neverí, cuyas aguas alimentan un embalse de 1500 hectáreas que suministra el 80% el agua que consumen los habitantes de la región Nor-Oriental (MARNR, 1997).

Esta zona posee vegetación boscosa asociada a pendientes pronunciadas, con diversos niveles de intervención, afectados principalmente por la actividad cafetalera y el establecimiento de sistemas hortícolas de mediana y alta intensidad, que afectan el balance energético e hídrico por degradación del suelo, con la aparición de procesos erosivos que disminuyen la calidad y productividad de las tierras.

Los cafetales tradicionales, bajo árboles de sombra, frutales o maderables, podrían ser considerados uno de los cultivos menos perjudiciales, porque preservan algunos de los procesos ecológicos propios del bosque natural, como el mantenimiento de una constante cobertura de los suelos (La Marca y Silva, 2015; Venturini, 2007).

Labriere *et al.* (2015) señalan que la pérdida de suelo es menor en las parcelas ocupadas por cultivos arbóreos con una cubierta permanente, aun así, la erosión no puede considerarse totalmente nula. Por otro lado, condiciones de suelo desnudo, relacionados con la tala y la agricultura migratoria, contribuyen a incrementar de forma desproporcionada la velocidad de erosión global en dichos ambientes.

En el estado Monagas la caficultura ocupa aproximadamente 23183 hectáreas, particularmente el municipio Caripe posee 13000 ha, con rendimientos de 5 quintales por hectárea, inferiores al promedio nacional (8,3 qq ha<sup>-1</sup>) y muy distante del potencial productivo de las variedades en uso. Entre las limitantes para la producción se pueden citar: grandes superficies sembradas con cafetos viejos de poca producción, carencia de planes coherentes de apoyo al desarrollo cafetalero, insuficientes 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, y recientemente la aparición de la broca del cafeto, como plaga de importancia económica (Silva-Acuña *et al.* 2010).

El reconocimiento de las propiedades del suelo y paisaje es de gran importancia para el diseño de programas de manejo, principalmente cuando se delimitan zonas o clases similares de manejo agronómico de cultivos, partiendo del entendimiento y clasificación de la variabilidad de las propiedades del suelo y de su efecto sobre la productividad como componentes determinantes en la definición de prácticas agrícolas localizadas (Delalibera *et al.* 2012; Jiang y Thelen, 2004).

Dada la relevancia de la región del Turimiquire, como zona productora de agua del área Nor-Oriental del país, y tomando en cuenta la importancia económica y la superficie cultivada de café en la zona, la presente investigación tuvo como objetivo caracterizar las propiedades físicas de los suelos del eje cafetalero San Agustín-Juasjuillar del municipio Caripe estado Monagas; a fin de contribuir a la generación de planes de manejo particulares en función de la similitud de las diferentes localidades, en uno de los ejes con mayor producción de dicho rubro en este estado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de muestreo correspondió al eje cafetalero San Agustín-Juasjuillar, que representa el área de mayor importancia para 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 está clasificado como bosque húmedo premontano, con temperaturas que oscilan entre 12 y 24 °C, la precipitación es de 1124 mm como promedio anual y la altitud es de 1050 msnm (MARNR, 1997).

Los suelos donde fueron realizados los estudios, se ubican dentro del paisaje montañoso de la Serranía del Turimiquire. Se evidenció que están poco evolucionados y fértiles, clasificando como Ustepts-Orthents moderadamente profundos y, en ocasiones, vinculados a afloramientos rocosos, con pendientes entre 45 a 60% y superiores al 60%; además, presentan tendencia para la realización de plantaciones agrícolas, bajo el uso de cultivos permanentes (café y cítricos), con posibilidad de ser desplazados por cultivos hortícolas intensivos.

Se realizó un muestreo estratificado sobre el horizonte superficial a lo largo del eje cafetalero San Agustín-Juasjuillar (Figura 1), donde se

tomaron muestras de suelos no alteradas por duplicado en 153 unidades de producción, utilizando barreno Uhland con cilindros de 785 cm<sup>3</sup>. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Oriente (UDO) Núcleo Monagas y en el Laboratorio de Suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas del estado Guárico (INIA Guárico).

A propósito del estudio se determinaron las siguientes variables: conductividad hidráulica saturada (Forsythe *et al.* 1975), densidad aparente (Blake y Hartge, 1965), densidad real (método del picnómetro), porosidad total (Pla, 1983), macroporosidad (Pla, 1983), granulometría (Day, 1965), agregados estables al agua de diferentes diámetros (Pla, 1983), contenido de humedad (método gravimétrico) y contenido de materia orgánica (Walkley y Black, 1934).

Los datos fueron tabulados y sometidos a análisis exploratorio para verificar la presencia

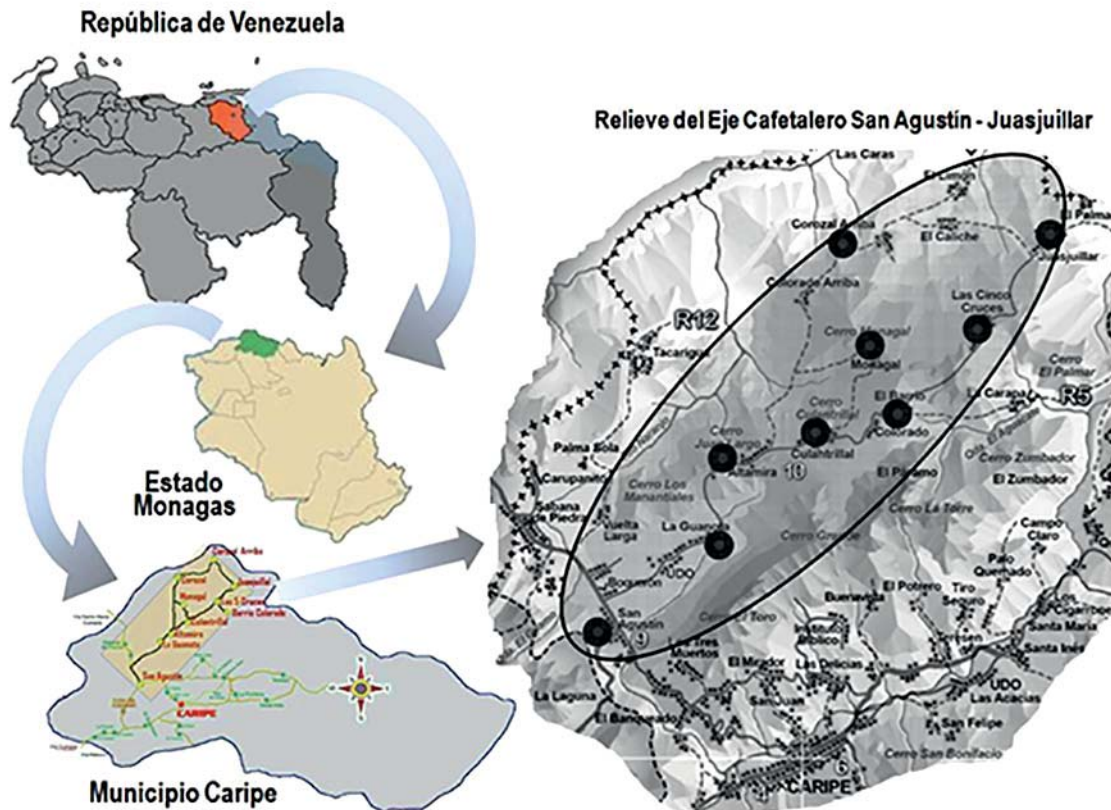


Figura 1. Ubicación relativa de las localidades evaluadas en el eje cafetalero San Agustín- Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas.

de valores anómalos o atípicos. Posteriormente, se realizó un análisis de correlación lineal de Pearson a fin de identificar y descartar variables que pudieran estar generando información redundante. El resto de las variables fueron estandarizadas ( $x=0$ ;  $s^2=1$ ) y utilizadas en el análisis de componentes principales para identificar aquellas que aportan la mayor variabilidad, a través de la selección de 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 procedió a realizar un análisis de agrupamiento jerárquico, utilizando la distancia euclidiana promedio para la conformación de los grupos. El corte que definió el número de grupos del dendograma fue realizado utilizando el método visual, en el cual se especificó el nivel de agrupamiento por conveniencia (Cargnelutti *et al.* 2008; Albuquerque, 2005; Sneath y Sokal, 1973), escogiéndose como punto de corte la distancia euclidiana promedio de 2,2.

Posteriormente se analizaron las características físicas de cada uno de los grupos identificados. Los datos fueron procesados por medio del programa estadístico InfoStat® (Di Rienzo *et al.* 2016).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de correlación de Pearson condujo a la exclusión de las variables conductividad hidráulica saturada, porcentaje de humedad, densidad real y contenido de limo, por estar altamente correlacionadas o por presentar multicolinealidad, con respecto a otras variables del conjunto de datos evaluados.

El análisis de componentes principales estuvo orientado a reducir la dimensionalidad del conjunto de datos evaluados en el sector cafetalero. Cada componente principal es descrito en términos de nuevos componentes, los cuales son definidos como la combinación lineal de las variables originales. El primer componente, asociado con el mayor autovalor, representa el valor máximo del total de la varianza; el segundo componente es la segunda combinación lineal, no correlacionado con el primer componente, que representa la máxima

varianza residual; y así sucesivamente, hasta contabilizar totalmente la varianza. Es deseable que un número reducido de componentes expliquen un gran porcentaje de la varianza total.

En el eje cafetalero San Agustín-Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas, la determinación de los componentes principales permitió seleccionar cuatro vectores de autovalores de alto rango, los cuales explicaron el 95% de la varianza total observada en los datos (Cuadro 1), con lo cual se 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; Pereira *et al.* 2010; Carvalho *et al.* 2008).

El Cuadro 1 muestra las variables con mayores pesos en los componentes principales derivados de las propiedades físicas evaluadas, a partir de las cuales se explicó el 95% de la varianza acumulada, superior a los valores encontrados por Serafim *et al.* (2013) en la distinción de ambientes para el café, tomando en cuenta la función de la disponibilidad hídrica para el cultivo, quienes explicaron el 87% de la variación total a partir de cuatro componentes principales.

Por su parte, 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 primer componente estuvo relacionado con la clase textural, la materia orgánica y la estabilidad estructural, el segundo componente se relacionó a la densidad aparente, el tercer componente se relacionó con los agregados estables de tamaño medio, mientras que el cuarto componente estuvo relacionado con la porosidad del suelo.

Trabajos de Araujo *et al.* (2012) destacan la importancia de la granulometría como variable determinante en la separación de grupos de suelos derivados de materiales sedimentarios de la región Central de Río Grande del Sur, Brasil. Por su parte, Thomazini *et al.* (2013) señalan que la estabilidad estructural es una variable integradora que tiende a disminuir en la medida en que se interviene el bosque natural con fines de producción cafetalera.

Cuadro 1. Variables con mayores pesos en cuatro componentes principales de propiedades físicas de suelos del eje cafetalero San Agustín - Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas.

Variable	Componente Principal			
	1	2	3	4
Materia Orgánica (%)	<b>0,48</b>	- 0,23	- 0,21	- 0,20
Arcilla (%)	<b>0,46</b>	0,15	0,19	0,33
Arena (%)	<b>- 0,46</b>	- 0,19	0,13	- 0,31
Densidad Aparente (mg.m <sup>-3</sup> )	- 0,11	<b>0,81</b>	0,14	0,03
Porosidad Total (%)	- 0,34	- 0,39	- 0,13	<b>0,68</b>
Agregados Estables > 4 mm	<b>- 0,43</b>	0,10	0,28	0,22
Agregados Estables 2 - 4 mm	0,18	- 0,27	<b>0,89</b>	- 0,04
Autovalor	<b>3,75</b>	<b>1,33</b>	<b>0,96</b>	<b>0,59</b>
Proporción de la Varianza (%)	<b>54,0</b>	<b>19,0</b>	<b>14,0</b>	<b>8,0</b>
Varianza Acumulada (%)	<b>54,0</b>	<b>73,0</b>	<b>87,0</b>	<b>95,0</b>

El uso del análisis de conglomerados, con la utilización de las variables de mayor peso en cada uno de los componentes principales identificados, permitió distinguir seis grupos con propiedades físicas similares, utilizando como índice de similitud la distancia euclidiana promedio de 2,2.

La Figura 2 muestra el dendograma 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 y paisaje. Es bien conocido que las propiedades físicas del suelo, en sistemas con pocas labores mecanizadas, son relativamente estables ante la intervención agrícola, sobre todo en las condiciones de ejecución del presente estudio, donde la práctica de producción cafetalera es mayormente artesanal.

En tal sentido, Monagal y Cinco Cruces son comunidades cercanas con relieves accidentados asociados al cerro Monagal, y conforman el grupo número 6. Del mismo modo, las localidades Culantrillal y Barrio Colorado son parte de un grupo similar en cuanto a atributos

físicos de suelo, y se ubican en un área de 3 Km de diámetro aproximadamente, con pendientes menos pronunciadas que en el grupo anterior, asociadas al cerro Culantrillal.

Por su parte, las localidades San Agustín, La Guanota y Altamira, tienen una separación, entre sí, de 5 Km aproximadamente, y corresponden a una zona deprimida con deposición de material sedimentario, que le confiere alta variabilidad. De esta forma, el análisis de conglomerados las separa en grupos diferentes a cada una; mientras que Corozal también fue separada en un grupo, probablemente debido a su ubicación en el piedemonte, donde recibe sedimentos que drenan hacia el estado Sucre.

La discrepancia se presentó con la localidad Juasjuillar, la cual fue agrupada junto a Culantrillal y Barrio Colorado, a pesar de estar ubicada en un paisaje distinto; probablemente, dicha clasificación estuvo asociada a alteraciones de las propiedades del suelo como consecuencia de las prácticas de manejo aplicadas por los agricultores en dicha localidad, lo cual indujo dichas similitudes.

El Cuadro 2 presenta el resumen de las propiedades físicas de los diferentes grupos

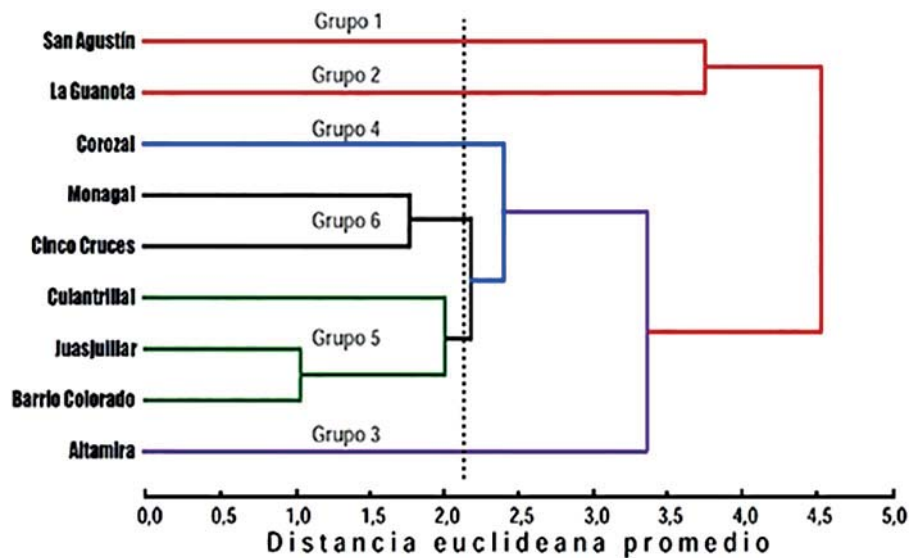


Figura 2. Dendrograma de agrupamiento por similitud de propiedades físicas de suelos de las localidades del eje cafetalero San Agustín-Juasjuillar, municipio Caripe, estado Monagas.

conformados. Los primeros tres grupos corresponden a zonas de deposición sedimentaria, ubicadas en la depresión de la quebrada “La Guanota”, lo cual le confiere la predominancia de partículas finas provenientes de la erosión de paisajes ubicados a mayor altitud.

En consecuencia, se observan los mayores niveles de materia orgánica y arcilla con un gradiente a favor de la pendiente; es decir, menores valores en las zonas altas y mayores niveles en las zonas bajas: la localidad de Altamira presenta 6,43% de materia orgánica y 21,7% de arcilla; la localidad de La Guanota tiene 7,42% de materia orgánica y 28,8% de arcilla; mientras que San Agustín, ubicada en la posición más baja, mostró 7,46% de materia orgánica y 40,3% de arcilla.

En general, los suelos de texturas finas son suelos pesados, que presentan baja permeabilidad, alta capacidad de retención de humedad y mayor fuerza de cohesión entre las partículas; sin embargo, la fracción limosa de estos suelos tiene gran potencialidad de obstrucción del medio poroso, con lo cual se limitaría la permeabilidad y se induciría la escorrentía superficial con el consecuente arrastre de sedimentos (Silva y Soares, 2013).

Por otra parte, las variaciones en la abundancia o la composición de la materia orgánica pueden tener efectos sobre los procesos y servicios de los ecosistemas, tales como la capacidad de intercambio catiónico, la estructura y la retención de humedad de los suelos y su capacidad de almacenar carbono en el suelo, por medio de la captación de la atmósfera e incorporación a los tejidos vegetales (Benites *et al.* 2010).

La materia orgánica del suelo es un factor estabilizador de la estructura del mismo, ya que ayuda a mantener las partículas minerales unidas frente a las fuerzas desestabilizadoras, como el humedecimiento e impacto de las gotas de lluvia (Lado *et al.* 2004). Se ha encontrado alta correlación entre el contenido de carbono orgánico del suelo y la agregación (Hermawan y Bomke, 1997), así como con la estabilidad de los agregados formados (Haynes *et al.* 1997), debido a la acción enlazante de las sustancias húmicas y otros productos generados por la actividad microbiana (Shepherd *et al.* 2001; Bronick y Lal, 2005).

El hecho de que la materia orgánica de estos tres grupos sea proveniente de la sedimentación, implica que la misma no está afianzada como para generar suficiente estabilidad en los agregados; observándose como la localidad de La Guanota tiene la condición menos favorable,

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

Grupo	Localidades	N	Paisaje	Estadístico	Porosidad		Da (mg.m <sup>-3</sup> )	Agregados		Materia Orgánica (%)	Arena (%)	Arcilla (%)
					Total (%)	Estadístico		Estables (%) 2-4 mm > 4 mm	Estadístico			
1	San Agustín	6	Depresión	Promedio	37,6	1,31	13,9	19,3	7,46	35,8	40,3	
				Desv. Est.	(± 7,2)	(± 0,11)	(± 4,1)	(± 8,8)	(± 1,40)	(± 21,8)		
				CV (%)	19,3	8,4	29,2	45,6	18,7	61,1		
2	La Guanota	20	Depresión	Promedio	44,6	1,31	0,14	0,23	7,42	39,3	28,8	
				Desv. Est.	(± 9,7)	(± 0,17)	(± 0,07)	(± 0,17)	(± 1,55)	(± 17,1)		
				CV (%)	21,6	13,4	49,1	72,9	20,9	43,5		
3	Altamira	17	Piedemonte	Promedio	50,2	1,20	10,7	39,4	6,43	54,4	21,7	
				Desv. Est.	(± 8,4)	(± 0,17)	(± 6,6)	(± 24,3)	(± 1,84)	(± 17,7)		
				CV (%)	16,7	13,9	61,6	61,6	28,7	32,6		
4	Corozal	10	Colina	Promedio	47,1	1,36	12,1	36,7	5,01	52,6	23,0	
				Desv. Est.	(± 5,7)	(± 0,13)	(± 5,1)	(± 22,9)	(± 1,24)	(± 9,2)		
				CV (%)	12,1	9,8	41,6	62,4	24,8	17,6		
5	Juasjuillar Culantrillal Barrio Colorado	69	Colina	Promedio	49,1	1,30	5,8	64,6	4,77	49,6	24,3	
				Desv. Est.	(± 6,5)	(± 0,19)	(± 4,7)	(± 23,0)	(± 1,72)	(± 14,6)		
				CV (%)	13,1	14,5	81,8	35,6	36,0	29,4		
6	Monagal Cinco Cruces	31	Colina escarpada	Promedio	43,7	1,34	4,2	62,8	4,43	57,1	18,3	
				Desv. Est.	(± 5,2)	(± 0,15)	(± 3,6)	(± 20,1)	(± 1,48)	(± 12,4)		
				CV (%)	11,9	11,0	86,3	31,9	33,4	21,8		

N: número de unidades de producción. CV: Coeficiente de variación. Da: Densidad aparente.

con menos de 1% de agregados mayores de 2 mm estables al agua, mientras que las localidades de San Agustín y Altamira tienen una condición intermedia, con 34,2 y 50,1%, respectivamente.

Similarmente, la presencia de partículas finas tiende a reflejarse en menor densidad aparente y mayor porosidad, situación que se cumple en la localidad de Altamira, con densidad aparente de 1,20 mg.m<sup>-3</sup> y porosidad total de 50,2%; y discrepa con la localidad de San Agustín, que presenta densidad aparente de 1,31 mg.m<sup>-3</sup> y porosidad total de 37,6%, lo que hace presumir problemas de compactación en dicho sector.

Cabe destacar que la localidad de La Guanota presenta el mayor porcentaje de limo (31,9%), lo cual confiere a los suelos alta susceptibilidad a la degradación estructural, como el sellado superficial y la compactación (Páez y Pla, 1992; Reyes, 2010). Álvarez *et al.* (2012) señalan que a medida que la fracción limo aumenta, se requieren mayores contenidos de carbono para mantener la estabilidad estructural del suelo.

Volverás y Amezquita (2009) encontraron que el uso intensivo del suelo por largos periodos generó pérdida de materia orgánica y cambios en la clase textural por disminución paulatina del porcentaje de arcilla y aumento del porcentaje de arena, como consecuencia del arrastre de las partículas finas debido a fases erosivas, lo cual afecta procesos y propiedades como la retención de humedad, distribución de poros y niveles de nutrimentos. Además, la pérdida de humus generó disminución en la agregación, en la porosidad, en la capacidad de infiltración, y aumentó la escorrentía y la erosión.

El grupo conformado por las localidades Culantrillal, Barrio Colorado y Juasjuillar, destaca por presentar la mayor estabilidad estructural, con 64,6% de agregados mayores de 4 mm estables al agua, a pesar de contar con un nivel medio de materia orgánica (4,77%) y de arcilla (24,3%). Dicha estabilidad estaría asociada a una materia orgánica humificada *in situ*, que le confiere alta estabilidad a los agregados. Una condición similar la presenta el grupo conformado por Monagal y Cinco Cruces, pero en este particular los suelos son más arenosos (57,1%) y presentan mayor densidad aparente (1,34 mg.m<sup>-3</sup>), por lo que se distinguen del grupo

anterior. Cabe destacar que estos dos últimos grupos, por su condición de paisajes colinosos, son susceptibles a procesos erosivos, con pérdida de partículas finas, como la materia orgánica poco degradada y los materiales arcillosos.

Consideración particular merecen las unidades de producción ubicadas alrededor de la localidad de Corozal, la cual fue separada en un grupo y presentó una condición intermedia a todos los grupos descritos anteriormente, con las siguientes características: materia orgánica media (5%), 23% de arcilla, 52,6% de arena, 48,8% de agregados mayores de 2 mm estables al agua, densidad aparente de 1,36 mg.m<sup>-3</sup> y porosidad total de 47,1%. Dichas unidades están ubicadas en un paisaje colinoso de posición intermedia, con drenaje hacia la vertiente del estado Sucre.

Dec *et al.* (2008) señalan que los cambios estructurales afectan el volumen y el comportamiento del medio poroso del suelo, siendo más notables cuando se parte de niveles bajos de densidad aparente, y ocurren debido a fuerzas internas y externas, como el agrietamiento y la compactación, respectivamente. La agregación fue más intensa en suelos poco alterados, como bosques primarios y secundarios, a consecuencia de procesos sucesivos de humedecimiento y secado. Horn y Smucker (2005) sugieren que la agregación también depende de la intensidad y del tipo de actividad biológica y de los exudados orgánicos derivados de esta.

Es evidente que los procesos de humedecimiento y secado son distintos en una zona sometida a erosión (como es el caso de los grupos 4, 5 y 6) y una zona sometida a deposición de sedimentos (como es el caso de las localidades de Altamira, La Guanota y San Agustín). Además, se presume que los procesos de arrastre y deposición de sedimentos condicionaron la actividad biológica en las diferentes posiciones del paisaje característico de cada localidad, favoreciendo mayor estabilidad estructural en las zonas altas, donde prevalecería la materia orgánica estabilizada y serían erosionadas las partículas menos humificadas.

La erosión hídrica es un factor importante que contribuye a la disminución de productividad



y la sostenibilidad de los suelos agrícolas, ya que puede inducir su degradación. Varios autores han demostrado efectos adversos, tales como la pérdida de suelos y aguas, sobre la concentración de nutrimentos y la disminución del contenido de materia orgánica en diferentes sistemas de uso y manejo del suelo (Labriere *et al.* 2015; Serafim *et al.* 2013; Bronick y Lal, 2005; Lal, 1990;). Por lo tanto, la resistencia del suelo a la erosión representa una cualidad importante en cualquier sistema de producción.

Carvalho *et al.* (2007) destacan que en los sistemas de producción cafetalera donde se mantuvo la vegetación de cobertura, se obtuvo mayor eficacia en la protección del suelo, en relación a pérdidas de suelo y agua, comparándolo con los sistemas que tuvieron exposición del suelo. La reducción en el potencial de arrastre de sedimentos estuvo asociada a la barrera física que representó la cobertura vegetal en la reducción de la energía cinética del transporte de sedimentos, limitando el escurrimiento superficial y la ruptura de agregados.

### **Estrategias de manejo**

Dada la importancia ecológica y económica, el eje cafetalero San Agustín-Juasjuillar es prioritario en las estrategias de conservación local, debido al área agrícola que ocupa en la Serranía del Turimiquire, principal área proveedora de agua de la Región Oriental. El ambiente montañoso del municipio Caripe del estado Monagas ofrece lugares que constituyen un atractivo para la promoción de la industria turística y ecoturística. Las amenazas a la integridad de estos ambientes están representadas por la tala, la quema indiscriminada, la ampliación de la frontera agrícola, la ganadería mal manejada, la forestación con especies foráneas, la cacería ilegal y ciertas formas de turismo poco planificado.

Desde el punto de vista agrícola, la principal amenaza es la proliferación de sistemas de producción intensiva de hortalizas, que inducen el desplazamiento de las plantaciones de cafeto, provocan la disturbación del suelo y su exposición a los factores erosivos. Se hace necesario identificar las principales limitantes para transformar el sistema cafetero hacia una

producción sostenible y reducir los riesgos de cambio de uso de la tierra en la región.

Labriere *et al.* (2015) señalan que en la región tropical la erosión del suelo está concentrada espacial y temporalmente, asociada a la condición del relieve y a la agresividad climática, donde la presencia de diferentes doseles de vegetación son esenciales en la mitigación del proceso erosivo. Por su parte, Lobo *et al.* (2010) señalan que varias regiones de Venezuela presentan precipitaciones concentradas con una agresividad alta a muy alta, lo cual genera alta vulnerabilidad a la erosión.

Las propiedades físicas de los suelos del eje cafetalero San Agustín-Juasjuillar son ideales para el desarrollo del cultivo, a pesar de que las condiciones de relieve podrían inducir procesos erosivos. Trabajos de Thomazini *et al.* (2013) señalan que la remoción de la cobertura del suelo, con la implantación del sistema de producción de café a cielo abierto, potenció la dispersión de las arcillas y la consecuente degradación de suelos tan sólo en un periodo de dos años.

En tal sentido, las prácticas de manejo de la región deberían orientarse a limitar los procesos erosivos, bien sea a través de la conservación o incremento de la cobertura vegetal o a través de prácticas que acorten la longitud de la pendiente en zonas de laderas, como el uso de barreras vivas y la construcción de canales de desviación del agua de escorrentía hacia áreas protegidas. Consideraciones especiales deben realizarse en las zonas de acumulación de sedimentos, ya que potencialmente podrían acarrear problemas de reducción de la porosidad y como resultado, limitada aireación de las raíces, lo cual ameritaría la construcción de drenajes.

## **CONCLUSIONES**

Las zonas cafetaleras del municipio Caripe del estado Monagas fueron caracterizadas y agrupadas por medio de la evaluación de un número limitado de variables de suelos y el empleo de técnicas de análisis multivariado.

En el eje cafetalero San Agustín-Juasjuillar las localidades fueron agrupadas en seis conglomerados, utilizando siete variables que explicaron el 95% de la variación en las

propiedades físicas de los suelos. Como criterios de agrupamiento predominaron las relaciones espaciales, la granulometría, la materia orgánica y la estabilidad estructural.

Las localidades ubicadas en zonas colinosas presentaron la mayor estabilidad estructural, condición que limita los procesos erosivos de la zona, mientras que las localidades de las zonas bajas mostraron los mayores niveles de materia orgánica y de arcilla, como producto de la acumulación de sedimentos.

Las estrategias de manejo deben orientarse a limitar los procesos erosivos mediante la conservación o incremento de la cobertura vegetal y de prácticas que acorten la longitud de la pendiente en zonas de laderas.

### 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.
- Alvarez, C; Fernández, P; Taboada, M. 2012. Relación de la inestabilidad estructural con el manejo y propiedades de los suelos de la región pampeana. *Cienc. Suelo*. 30(2):173-178.
- Araújo, F; Samuel-Rosa, A; Diniz, R. 2012. Variação das características pedológicas e classificação taxonômica de argissolos derivados de rochas sedimentares. *R. Bras. Ci. 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. *R. Bras. Ci. Solo*. 36:1591-1600.
- Benites, V; Oliveira, R; Costa, H; Carvalho, F. 2010. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de Mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. *Revista Árvore, Viçosa-MG*. 34(4):685-690.
- Blake, GR; Hartge, KH. 1965. Bulk density. In: *Methods of soil analysis, Part 1* (A. Klute, ed.), Agronomy N° 9. Madison, WI. Am. Soc. Agron. pp. 371-373.
- Bronick, C; Lal, R. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*. 124:3-22.
- Cargnelutti, A; Dalfollo N; Padilha, R; Rodrigues J; Jost, E. 2008. Comparação de métodos de agrupamento para o estudo da divergência genética em cultivares de feijão. *Ciência Rural*. 38(8):2138-2145.
- Carvalho, R; Silva, MN; Avanzi, J; Curi, N; Silva F. 2007. Erosão hídrica em latossolo vermelho sob diversos sistemas de manejo do cafeeiro no sul de Minas Gerais. *Ciênc. agrotec. Lavras*. 31(6):1679-1687.
- Carvalho, W., Schaefer E; Chagas C; Fernandes E. 2008. Análise multivariada de Argissolos da faixa atlântica brasileira. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:2081-2090.
- Day, PR. 1965. Particle size fractionation and particle size analysis. In: *Methods of soil analysis, Part 1* (A. Klute, ed.), Agronomy N° 9. Madison, WI. Am. Soc. Agron. pp. 545-566.
- Dec, D; Dörner, J; Becker-Fazekas, O; Horn, R. 2008. Effect of bulk density on hydraulic properties of homogenized and structured soils. *R. C. Suelo Nutr. Veg*. 8(1):1-13.
- Delalibera, H; Weirich, P; Nagata, N. 2012. Management zones in agriculture according to the soil and landscape variables. *Eng. Agríc., Jaboticabal*. 32(6):1197-1204.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2016. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 98 p.
- Forsythe, W; Perumpral, JV; Francois-Haugrain, MO; Barbeau, G; Ramnanan, GN; Warnisley D; Cubillos, HE. 1975. Manual de laboratorio: Física de suelos (No. IICA-LME 25). IICA, San José (Costa Rica). 232 p.
- Haynes, R; Swift, R; Stephen, K. 1997. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter, water stable and clod porosity in a group of soils. *Soil Till. Res*. 19:77-81.

- Hermawan, B; Bomke, A. 1997. Effects of winter cover crops and successive spring tillage on soil aggregation. *Soil Till. Res.* 44:109-120.
- Horn, R; Smucker, A. 2005. Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. *Soil & Till. Res.* 82:5-14.
- Jiang, P; Thelen, K. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a northcentral corn-soybean cropping system. *Agronomy Journal* 96:252-258.
- La Marca, F. y F. Silva. 2015. El Paisaje Cultural Andino en el Estado Mérida (Venezuela): Una Contribución Geográfica. *Geografía, Ensino & Pesquisa.* V. 19(N.Especial):69-79.
- Labriere, N; Locatelli, B; Laumonier, Y; Freycon, V; Bernoux, M. 2015. Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 203:127-139.
- Lado, M; Paz, A; Ben-Hur, M. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation and soil loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:935-942.
- Lal, R. 1990. Soil erosion in the tropics: principles and management. McGraw-Hill. New York. 580 p.
- Lobo, D; Cortez, A; Rodríguez, MF; Ovalles, F; Rey, JC; Gabriels, D; Parra, M. 2010. Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. I. Región de Los Llanos. *Bioagro* 22(3): 169-176.
- MARNR (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables). 1997. Atlas del estado Monagas. Gobernación del estado Monagas. 99 p.
- Páez, ML; Pla Sentis, I. 1992. Evaluación de la eficiencia de índices de erodabilidad en suelos agrícolas en Venezuela. *Agronomía Tropical.* 42(1-2):27-40.
- Payé, H; Vargas; Bezerra, JS. 2012. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. *R. Bras. Ci. Solo.* 36:1031-1041.
- Pereira, S; Oliveira, G; Severiano, E; Balbino, L; Oliveira, J. 2010. Análise de componentes principais dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico típico sob pastagem e mata. *Global Sci. Technol.* 3:87-97.
- Pla, I. 1983. Metodologías para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. *Revista de la Facultad de Agronomía.* Alcance N° 32. Universidad Central de Venezuela. 91 p.
- Reyes, W. 2010. Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela. *Bioagro.* 22(1):29-36.
- Saatchi, S; Harris, N; Brown, S; Lefsky, M; Mitchard, T; Salas, W; Zutta, B; Buermann, W; Lewis, S; Hagen, S; Petrova, S; White, L; Silman, M; Morel, A. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108: 9899-9904.
- Serafim, M; Oliveira, G; De Lima, J; Silva, B; Zeviani, W; Lima, V. 2013. Disponibilidade hídrica e distinção de ambientes para cultivo de cafeeiros. *R. Bras. Eng. Agric. Ambiental.* 17(4):362-370.
- Shepherd, T; Saggar, S; Newman, R; Ross, C; Dando, J. 2001. Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fraction in New Zealand soils. *Aust. J. Soil Res.* 39:465-489.
- Silva-Acuña, R; Velásquez, L; Barrios, R. 2010. El *status quo* de la caficultura en Caripe – Monagas (en línea). Venezuela. Consultado 04 abr. 2016. Disponible en: [www.calameo.com/books/00281388194c01508b3aa](http://www.calameo.com/books/00281388194c01508b3aa)
- Silva, S; Soares, J. 2013. Atributos físicos do solo e sua relação espacial com a produtividade do café arábica. *Coffee Science, Lavras.* 8(4):395-403.
- Sneath, H; Sokal, R. 1973. Numerical taxonomy. San Francisco: Freeman. 573 p.

- Strassburg, B; Kelly, A; Balmford, A; Davies, R; Gibbs, H; Lovett, A; Miles, L; Orme, D; Price, J; Turner, R; Rodrigues, S. 2010. Global congruence of carbon storage and biodiversity in terrestrial ecosystems. *Conserv. Lett.* 3:98-105.
- Thomazini, A; Almeida, H; Leal, P; Mendonza, E. 2013. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de café na região Sul do Espírito Santo. *Coffee Science, Lavras.* 8(4):450-459.
- Tropek, R; Sedlacek, O; Beck, J; Keil, P; Musilova, Z; Simova, I; Storch D. 2014. Comment on High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science.* 344-981 p.
- Venturini, O. 2007. Geografía de la Región de Los Andes Venezolanos, Cátedra de organización del espacio. Programa: Ambiente - Salud y Sociedad, mención Geografía/Cs de la Tierra. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 17 p.
- Volverás, B; Amézquita, E. 2009. Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. *Acta Agron. (Palmira).* 58(1):35-39.
- Walkley, A; Black I. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.