

# **EFFECTO DE LOS SISTEMAS AGROFORESTALES SOBRE LA FERTILIDAD DE SUELOS DE LADERA DE LA SIERRA FALCONIANA (VENEZUELA)**

## **EFFECT OF THE AGROFORESTRY SYSTEM ON SOIL FERTILITY SLOPE OF THE FALCÓN MOUNTAIN RANGE (VENEZUELA)**

**Zamora, Frank<sup>1</sup>; Torres, Duilio<sup>2</sup>; Medina, Mario<sup>3</sup>; Labarca, Roberto<sup>4</sup>**

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Universidad Centro occidental “Lisandro Alvarado”. Lara - Venezuela

### **Resumen**

La calidad de suelos de ladera, se ve afectado por los procesos erosivos, que disminuyen su capacidad productiva, es por ello que se han propuestos sistemas agroforestales, que protejan al suelo contra la erosión e incorporen materia orgánica y nutrientes al mismo. Se evaluaron cuatro sistemas de manejo en suelos de ladera del estado Falcón que consistieron en plantaciones de café (*Coffea arábica*) asociado a especies forestales como guamo (*Inga villosima*) o especies frutales como naranja (*Citrus sinensis*) y cambur (*Musa paradisiaca*). Los tratamientos evaluados fueron: Café-naranja-guamo (T1); café-guamo-cambur (T2), café-guamo (T3) y bosque natural (T4). El muestreo de suelo fue en cuadrículas, se tomaron 10 muestras disturbadas y no disturbadas cada 50 m a 20 cm de profundidad. Las variables evaluadas fueron: materia orgánica, fósforo, potasio, calcio y magnesio disponibles y número de esporas de micorrizas. Los resultados mostraron que la asociación Café-Guamo-Naranja incrementó el aporte de materia orgánica y mejoró las condiciones de fertilidad del suelo, presentando los valores más altos de P y K disponibles. La asociación Café-Guamo-naranja presentó el mayor número de esporas de micorrizas/100 gramos de suelo ( $p < 0,05$ ), seguido de la asociación, Café-Cambur-Guamo, lo cual explica el mayor contenido de P disponible en el suelo.

**Palabras clave:** calidad de suelo, fertilidad, sostenibilidad.

### **Abstract**

The quality of hillside soils is affected by erosion processes, which reduces the productive capacity of the soil. In order to improve soil quality, agroforestry systems have been proposed, which protect the soil from erosion and incorporating organic matter and nutrients into the soil. For this a research was carried out to evaluate four types land use in hillside soils of the Falcón state. The types of land use consisted of coffee plantations (*Coffea arabica*) associated with forest species such as guamo (*Inga villosima*) or fruit species such as orange (*Citrus sinensis*) and banane (*Musa paradisiaca*). The evaluated treatments were: Coffee-orange-guamo (T1); Coffee-guamo-banane (T2), coffee-guamo (T3) and natural forest (T4). soil sampling was performed in grids, 10 disturbed and undisturbed samples were taken every 50 m to 20 cm depth. The evaluated variables were: organic matter, phosphorus, potassium, calcium and magnesium available and number of mycorrhizal spores. The results showed that the coffee-guamo-orange association increased the contribution of organic matter and improved the soil fertility conditions, presenting the highest available P and K values. The coffee-Guamo-orange association had the highest number of mycorrhiza spores 100 grams of soil<sup>-1</sup> ( $p < 0.05$ ), followed by the association, Café-Cambur-Guamo, which explains the higher available P content in the soil.

**Key word:** soil quality, fertility, sustainability.

**Recibido:** 22/09/2016 - **Aprobado:** 25/11/2016

## Introducción

La erosión es uno de los principales problemas de degradación de suelo en las zonas tropicales, el cual es potenciado por la agresividad climática (Rey *et al.*, 2012), la disminución de la cobertura vegetal (Nieto *et al.*, 2012) y por la sustitución de cultivos perennes por hortalizas y cereales en zonas de ladera.

Venezuela fue un país tradicionalmente agrícola, en las zonas andinas se acostumbraba a sembrar el cultivo del café, en los últimos años, este fue sustituido por cultivos de hortalizas como papa, zanahoria, entre otros, lo que ha conllevado a la degradación del suelo, debido al incremento de las pérdidas por erosión (Arellano *et al.*, 2008).

Lugo y Rey (2009), afirman que en Venezuela los problemas de erosión hídrica, se localizan principalmente en las regiones montañosas de la Cordillera de Los Andes y en las partes de mayor elevación de las cuencas de los ríos Uribante, Santo Domingo, Masparro, Guanare y Tocuyo, donde los procesos erosivos son potenciados por la deforestación y siembra de cultivos de en pendientes pronunciadas.

La Sierra de Falcón, aunque con menor actividad agrícola, también es una zona susceptible a la erosión, debido a la presencia de lluvias intensas y las altas pendientes. Tradicionalmente la zona se ha caracterizado por el cultivo del café y otros cultivos de plantación como las cítricas, las cuales han mantenido la calidad del suelo (Mogollón y Tremont, 2002). El uso de estos cultivos, especialmente asociados con leguminosas como el guamo, conlleva a un incremento del contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo (Mogollón *et al.*, 1997).

A pesar de los beneficios observados sobre la calidad del suelo, cuando se

siembra café asociado con guamo y cítricas, solamente el 20% de los productores de la Sierra de Falcón, han adoptado los sistemas agroforestales como estrategia para mejorar el estado nutricional de los cafetales (González y Acosta, 2007).

Dada la problemática planteada en las regiones agrícolas venezolanas es necesario promover estrategias de manejo de suelo, para minimizar las pérdidas por erosión hídrica. En este sentido, se deben proponer prácticas agroecológicas orientadas a incrementar la cobertura vegetal y proteger el suelo frente al impacto de la gota de lluvia. Los sistemas asociados de café con árboles autóctonos y cultivos perennes constituyen una alternativa válida (Farfán *et al.*, 2010), debido que el sotobosque y el dosel de la plantación disminuyen el impacto de la gota de lluvia y aportan materia orgánica al suelo, lo que conlleva al mantenimiento de la estructura del suelo y al incremento de la fertilidad del mismo.

Entre las prácticas agroecológicas, están los sistemas agroforestales, los cuales en el caso particular del café son definidas por Farfán (2012) como una serie de prácticas efectuadas para asociar especies arbóreas con este cultivo, posibilitando de esta manera la conservación del suelo, el agua y la proyección en aumento de la producción.

Machado y Ríos (2016), señalan que en Colombia siete de nueve agricultores cultivan café bajo semisombrío, lo que trae algunos beneficios para el agroecosistema como son: incremento del contenido de materia orgánica, ciclaje de nutrientes, reducción de malezas y mejoramiento de las condiciones físicas del suelo que favorece la infiltración y absorción del agua en el suelo, disminuyendo la escorrentía y la erosión en suelos de laderas.

Otra de las limitaciones para la producción agrícola en la zona es la presencia de suelos ácidos, que limitan la disponibilidad de P para los cultivos. El uso de cultivos asociados contribuye a mejorar la disponibilidad de este elemento, dado que aporta fósforo producto de la mineralización de materia orgánica, además de favorecer los procesos de micorrización que aumentan la solubilización de este elemento.

El objetivo de esta investigación fue evaluar algunas características químicas y biológicas relacionadas con la fertilidad del suelo en tres sistemas agroforestales, ubicados en la sierra falconiana (Venezuela), y su impacto sobre la calidad de los suelos.

## Materiales y métodos

### Descripción del área de estudio

El área de estudio se ubicó en la finca “El Pozón”, sector Guayapa, parroquia Curimagua, municipio Petit, estado Falcón, ubicada en una zona de vida de Bosque húmedo premontano (bh-P), con

precipitaciones de 1000 mm/año, a una altura aproximada de 900 msnm, con temperaturas promedias de 26°C (Mogollón *et al.*, 2009)

Los suelos bajo estudios fueron clasificados como Dystropepts por Mogollón *et al.* (2016), estos se caracterizaron por presentar texturas franco arcillosa a arcillosas, alto contenido de materia orgánica, bajo contenido de fósforo y pH bajos. Los suelos se encuentran en posición de cimas, laderas o en fondo de drenaje que reciben pocos aportes coluviales y poseen pendientes pronunciadas que favorecen los procesos erosivos.

### Tipos de uso de la tierra (TUT) considerados en el estudio

En la investigación se evaluaron cuatro tipos del uso de la tierra, los cuales se consideraron como tratamientos, estos fueron identificados como: T1: que corresponde al TUT Café-guamo-naranja; T2: que corresponde al TUT Café guamo-cambur (T2); T3: que corresponde al TU café-guamo y T4 que corresponde al TU bosque natural.

**Cuadro 1.** Breve descripción de los tipos de uso de la tierra en los suelos estudiados.

Tipo de uso de la tierra	Descripción del sistema de producción
Café-naranja-guamo (T1)	Este lote presenta una asociación de café ( <i>Coffea arabica</i> ) con naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ). Las variedades predominantes de café son catuaí amarillo y caturra rojo. El lote tiene una superficie de 7 ha y la edad de la plantación es de 10 años. Antes de su implementación, este lote tenía un manejo similar al T2.
Café-Guamo-cambur (T2)	Este lote presenta una asociación de café ( <i>Coffea arabica</i> ) y cambur ( <i>Musa paradisiaca</i> ). Las variedades predominantes de café son catuaí Amarilla y caturra. El lote tiene una superficie de 5 ha y la edad de la plantación es de 10 años.
Café- guamo (T3)	Presenta una plantación de café ( <i>Coffea arabica</i> ), variedad Typica) bajo sombra de guamo ( <i>Inga villosissima</i> ). El lote tiene una superficie aproximadamente de 5 Ha y tiene 30 años de establecido.
Bosque natural (T4)	Lote en descanso, sin ningún tipo de uso agrícola, e mismo tiene una superficie aproxima de 3 ha.

A continuación, se describen el manejo agronómico que se le dio a cada uno de los usos de la tierra evaluados (Cuadro 1).

### Diseño de muestreo

El estudio fue de carácter cuasi-experimental (Mogollón *et al.*, 2010). El muestreo se hizo por la metodología de transecta en cuadrículas y en cada intersección (50 m) se tomó una muestra de suelo disturbada y otra no disturbada, a 20 cm de profundidad. Para el análisis de suelos, se tomaron 10 muestras de suelo de cada TUT. El análisis de los datos se realizó como un experimento completamente aleatorizado, considerando el tipo de uso de la tierra como variable de clasificación. La distribución de los tipos de usos de la tierra evaluados en la investigación, se describen en la figura 1.

### Vriables evaluadas

A las muestras de suelo secadas y tamizadas (2 mm) se les determinó distribución de tamaño de partículas (Bouyoucos, 1936), carbono orgánico (Walkley y Black, 1934), pH (Miller y Kisell, 2010), conductividad eléctrica (Gavlak *et al.*, 2003), contenido de fósforo disponible (Olsen *et al.*, 1954), potasio disponible (Pratt, 1965), calcio y magnesio disponible (Doll y Lucas, 1973). El método que se utilizó para el aislamiento y conteo de esporas de

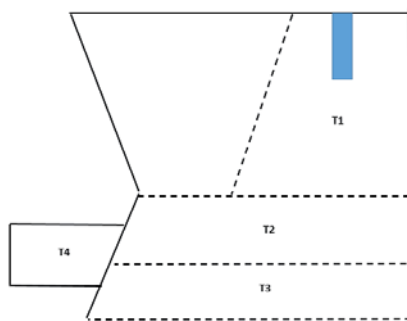
HMA del suelo es descrito por Gerdemann y Nicholson (1963).

### Análisis de los datos

Se realizó el análisis estadístico con el TUT como la variable independiente, y las variables independientes fueron los parámetros químicos y biológicos medidos en cada uno de ellos. Se aplicó la prueba de media de Tukey para aquellas variables que se mostraron significativas en el análisis de la varianza ( $P < 0,05$ ). Adicionalmente se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para determinar cuáles variables fueron las más importantes en explicar los cambios en los parámetros evaluados. El análisis estadístico se realizó usando el paquete estadístico Infostat (2002).

### Resultados y discusión

Para cada uno de los TUT evaluados se realizó una caracterización general de la textura del suelo (Cuadro 2), encontrado que en todos los usos predomina partículas de limo y arena, por lo cual el suelo presenta baja CIC, fertilidad baja y tendencia a la lixiviación de las bases, la presencia de limo pudo favorecer los procesos erosivos, al incrementar los riesgos de separabilidad de las partículas del suelo, al ser sometidos al impacto de las gotas de lluvia.



**Figura 1.** Distribución de tipos de uso de la tierra en parcelas experimentales de la Sierra de Falcón: T1: Café, Naranja y Guamo; T2: Café, Guamo y Cambur; T3: Café y Guamo; T4: Bosque natural.

**Cuadro 2.** Caracterización de la textura del suelo en la zona de estudio

Fracción, %	T1	T2	T3	T4
Arena	38,00	38,00	42,00	54,00
Limo	38,00	32,00	24,00	30,00
Arcilla	24,00	30,00	24,00	12,00
Textura <sup>1</sup>	F	FA	F	Fa

<sup>1</sup>F: Franca ; FA: franco-arcillosa Fa: franco-arenosa. Leyenda: T1: Café, Naranja y Guamo; T2: Café, Guamo y Cambur; T3: Café y Guamo; T4: Bosque natural

**Cuadro 3.** Características químicas de los suelos en cada tipo de uso de tierra.

Tratamiento <sup>1</sup>	MO <sup>2</sup>	pH	CE <sup>3</sup>	P <sup>4</sup>	K <sup>5</sup>	Ca <sup>6</sup>	Mg <sup>7</sup>
	g kg <sup>-1</sup>		dS m <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>			
<b>T1</b>	32,08 ab	5,98	0,06	5,80	64,80 b	398,40 a	74,40 ab
<b>T2</b>	31,22 ab	5,64	0,05	4,80	36,20 ab	390,00 a	53,20 a
<b>T3</b>	29,68 ab	5,84	0,06	5,00	41,20 ab	498,00 b	79,20 ab
<b>T4</b>	35,60 b	5,82	0,06	4,00	40,40 ab	529,90 b	100,40 b

ab Medias con letras distintas indican diferencias (P<0,05). / <sup>1</sup>Tratamiento: T1: Café, Naranja y Guamo; T2: Café, Guamo y Cambur; T3: Café y Guamo; T4: Bosque natural. / <sup>2</sup>MO: materia orgánica. <sup>3</sup>CE: conductividad eléctrica <sup>4</sup>P: fósforo disponible. <sup>5</sup>K: potasio disponible <sup>6</sup>Ca: calcio disponible <sup>7</sup>Mg: magnesio disponible

Los resultados encontrados muestran que el tipo de uso de la tierra, afectó significativamente (P<0,05) el contenido de materia orgánica, potasio, calcio y magnesio disponibles en el suelo, mientras que las variables, pH, CE y P disponible no fueron afectadas por el cambio del uso de la tierra (Cuadro 3).

El contenido de materia orgánica fue significativamente mayor (P<0,05) en el suelo bajo bosque natural con 35,6 g kg<sup>-1</sup>, seguido de aquellos TUT donde se estableció la asociación de café y frutales con el guamo con valores de 32,08 y 31,22 y 29,68 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente ( Cuadro 3), debido que este árbol es un alto productor de biomasa que contribuye a incrementar los niveles de materia orgánica en el suelo, el valor más bajo de materia orgánica se encontró en el

TUT donde se asoció el café con el cultivo de guamo con 29,68 g kg<sup>-1</sup>

Los resultados fueron similares a los reportados por Lozano *et al.* (2010), quienes encontraron que los valores de materia orgánica fueron inferiores en los sistemas de producción de cítricos en comparación a los bosques naturales en suelos inceptisoles y ultisoles “localizados en los valles altos del estado Carabobo, en Venezuela. Estos autores señalan que la introducción de cítricos generó un desmejoramiento de las condiciones del suelo por una disminución en las fracciones activas y pasivas de la materia orgánica y las fracciones protegidas por los agregados del suelo.

Andrade *et al.* (2014) encontraron que los sistemas agroforestales tienen la capacidad de fijar más carbono en

comparación a los sistemas de monocultivo. Estos autores determinaron que en sistemas agroforestales con Nogal (*Juglans regia*) la fijación de carbono fue de 0,80 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, la cual fue superior a la tasa de fijación encontrada en la asociación café con cambur y en monocultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) con valores de 0,63 y 0,37 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente.

Los suelos evaluados no presentaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) para las variables pH y conductividad eléctrica (Cuadro 3). Los valores de pH estuvieron entre 5,64 y 5,98, mientras que los valores de conductividad eléctrica estuvieron por debajo de 0,20 dS m<sup>-1</sup>, por lo que los suelos no son afectados por sales.

Cairo *et al.* (2004), demostraron que en plantaciones bajo el cultivo de guamo (*Inga vera* Wild), se logró mitigar los procesos de acidificación del suelo. Estos autores observaron que en sistemas agroforestales donde se usó el guamo como sombra, la saturación con aluminio estuvo por debajo de 5 % en todo el perfil del suelo, debido al aporte de residuos orgánicos con cationes de carácter básico, aportados por la hojarasca de esta plantación.

Con respecto a la fertilidad solo se observaron cambios significativos ( $P < 0,05$ ) para el K y Mg disponibles (Cuadro 3), los valores más altos de K disponible, se encontraron en la asociación café-naranja-guamo (T1) con 64,80 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que los valores más bajos corresponden a la asociación café-cambur-guamo (T4) con 36,20 mg kg<sup>-1</sup>. Para el Mg disponible los valores más altos de se encontraron en el bosque natural con 100,40 mg kg<sup>-1</sup>, mientras los más bajos se observaron en la asociación café-guamo-cambur con 53,20 mg kg<sup>-1</sup>.

Hanish *et al.* (2012) en cafetales bajo diferentes tipos de asociación encontraron

que el K disponible se encontró en un rango entre 29,6 y 422,22 mg kg<sup>-1</sup> y el Mg disponible en un rango entre 52,4 y 360 mg kg<sup>-1</sup>, no encontraron diferencias entre las medias de los tratamientos evaluados. Estos autores señalan que el potasio es uno de los principales nutrientes extraídos cuando se cosecha el café, sin embargo, en los estudios llevado a cabo en Indonesia, no se observó una reducción en la concentración de K en el suelo, lo cual puede estar asociado a los bajos niveles de productividad del café, lo cual es similar a lo que sucede en las plantaciones venezolanas.

La disminución de la concentración de K disponible en el suelo puede ser explicada por otros factores como la pendiente del terreno, que favorece los procesos erosivos en suelos de ladera. Sin embargo, la cobertura vegetal de los sistemas, agroforestales permite reducir las pérdidas de suelo. Siles *et al.* (2010) y Evizal *et al.* (2016), encontraron que en sistema agroforestales la sombra y la cobertura vegetal, mejoraron sustancialmente las condiciones bioquímicas del suelo, lo que se reflejó en un mayor contenido de K disponible fue mayor en comparación a los sistemas tradicionales, dado que.

El P y el calcio disponibles no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $P < 0,05$ ), los valores de P no superaron los 7 mg kg<sup>-1</sup>, y los de Ca los 500 mg kg<sup>-1</sup>. Todos los valores encontrados en el suelo para los nutrientes evaluados son considerados como bajos (Andrade *et al.*, 2014), por lo que el suelo tiene serias limitaciones de fertilidad.

Lojka *et al.* (2012) al evaluar el uso de diferentes especies forestales para la recuperación de suelo encontraron que el contenido de P disponible disminuyó a pesar de que se incrementó la materia orgánica, este decrecimiento de P fue debido

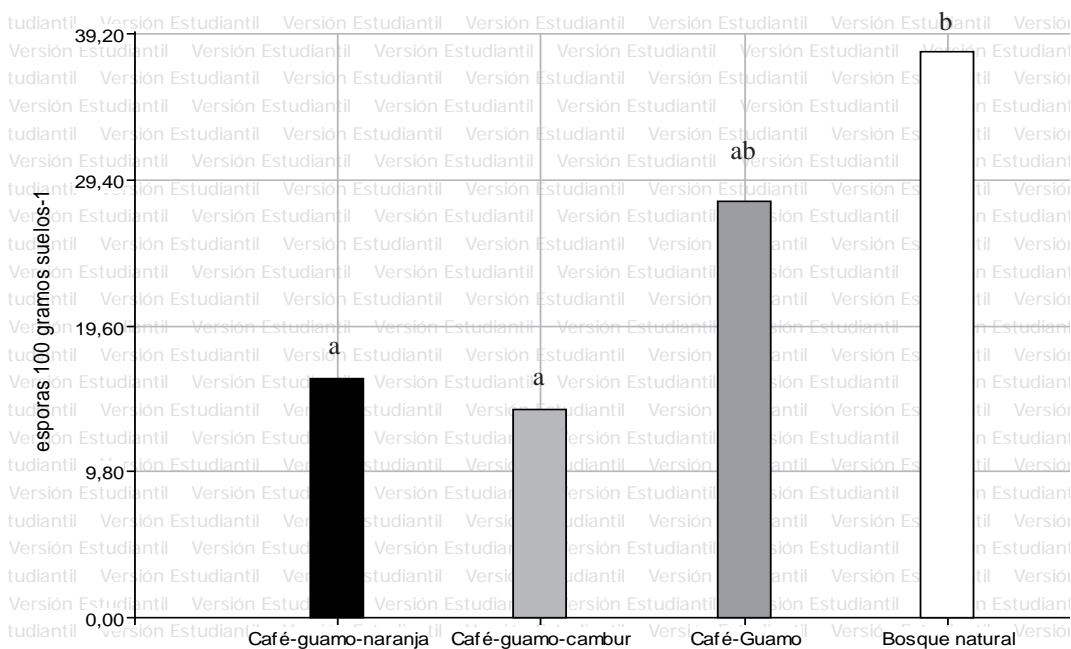


a la rápida mineralización del P durante las primeras fases del barbecho. Estos autores encontraron que los cambios en el pool de nutrientes ocurren en los primeros 10 cm del suelo, similar a lo reportado por Alegre *et al.* (2005), excepto el P, que se reduce considerablemente los primeros 40 cm de profundidad.

Los resultados difieren de los reportado por Cisneros y De Prager (2015), quienes encontraron un incremento del contenido de P disponible en sistemas de café bajo sombra en dos regiones colombianas, el incremento del P disponible es debido a la presencia de hongos solubilizadores de fosfatos de Ca, Al y Fe, los cuales liberaran el P fijado al Fe y Al en suelos extremadamente ácidos, otros autores como Farfán *et al.* (2014), atribuyen el incrementó del P disponible al aporte de residuos orgánicos en los sistemas asociados con guamo, el cual es equivalente a 11 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo que contribuye a la formación de materia orgánica estable en el suelo.

La reducción del calcio en los sistemas de cultivo asociados de café-naranja-guamo (T1) y café-cambur-guamo (T2), en comparación al bosque natural (T4), puede ser explicado por la intensificación de los procesos de lavado de bases. Autores como Montaña *et al.* (2016), destacan que la incorporación de hojarasca es importante para mantener e incrementar los valores de cationes en el suelo, debido a una la mineralización de la hojarasca incrementa la materia orgánica de suelo, permitiendo atrapar los cationes básicos al aumentar la CIC, impidiendo su lavado.

El número de esporas fue significativamente más alto ( P<0,05) en los suelos bajo bosque natural, mientras que los valores más bajos del número de esporas se encontraron en los usos donde se asoció el café con guamo, particularmente cuando se incluyó en la asociación otro cultivo como cambur o naranja.



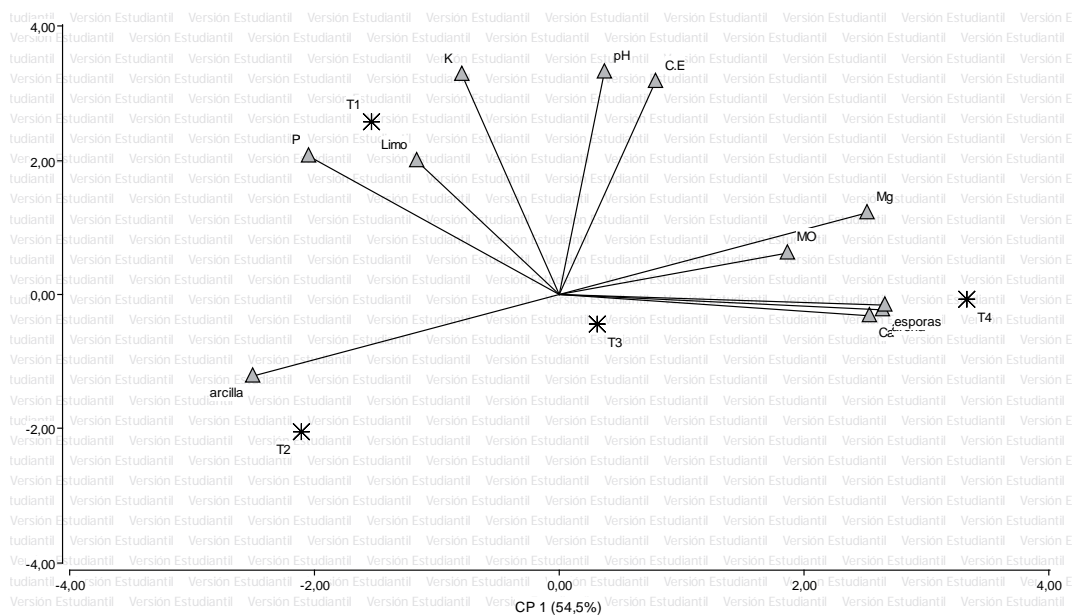
**Figura 2.** Número de esporas de micorrizas bajo diferentes tipos de uso de la tierra (TUT) en la Sierra de San Luis Estado Falcón.

Los valores más altos de esporas obtenidos bajo condiciones naturales son similares a los reportados por Trejo *et al.* (2011), encontraron que el mayor número de esporas correspondieron a los sistemas cafetaleros con mayor sombrero y menor nivel tecnológico, caracterizado por sombra, fertilización anual, desmalezado manual y sin aplicación de agroquímicos. A pesar que todas las unidades de producción presentaron un nivel tecnológico bajo, el número de esporas fue considerablemente menor al observado para el bosque natural y cuyo comportamiento pudo estar influenciado por el nivel nutricional del suelo.

López *et al.* (2007) encontraron una reducción significativa del número de esporas existente en el suelo, cuando aumentó la cantidad de P inorgánico aportado al suelo, en magnitudes desde 60 esporas 100 g<sup>-1</sup> de suelo a 32 esporas por g<sup>-1</sup> de suelo, sin embargo, en la presente investigación no se observaron cambios en los valores de P.

Los tipos de uso de la tierra modificaron considerablemente la calidad del suelo, tal como se aprecia en la Figura 2, el biplot producto del análisis de componentes principales (ACP), muestra que se encontraron dos grupos de suelos en función de su calidad, un grupo conformado por el tratamiento T4 bajo bosque natural y otro grupo que integro a los tratamientos T1, T2 y T3 donde se asoció el café con el guamo, y café con guamo y especies frutales como el cambur o la naranja.

El grupo bajo bosque natural, se caracterizó por presentar suelos de mayor fertilidad, debido a un mayor aporte de materia orgánica en estos sistemas, especialmente materia orgánica de fácil mineralización proveniente del guamo, estos sistemas además presentaron un mayor número de esporas. Mientras que el grupo conformado por los tratamientos T1, T2 y T3, donde se asoció el café con guamo y frutales como naranja y cambur, presentó



**Figura 3.** Biplot de variables evaluadas, bajo diferentes usos de la tierra en la Sierra de San Luis, estado Falcón. Leyenda: T1: Café, Naranja y Guamo; T2: Café, Guamo y Cambur; T3: Café y Guamo; T4: Bosque natural.



menores valores de materia orgánica y menor número de esporas, no obstante, presentaron un mayor contenido de P y K disponibles, provenientes posiblemente de la fertilización inorgánica.

El comportamiento observado difiere del reportado por Pezarico *et al.* (2013), quienes observaron que los sistemas agroforestales presentaron índices de calidad del suelo similares a los de las áreas bajo vegetación natural, mientras que el área bajo monocultivo fue el que más afectó la calidad del suelo, lo que indica que los sistemas bajo manejo convencional ha conllevado a la degradación ambiental, mientras que la diversificación en los sistemas agroforestales, mejoró considerablemente las condiciones del suelo.

González y Acosta (2007) al evaluar la dimensión ambiental de sistemas agroforestales en la localidad de Guayapa, estado Falcón, “en la misma área de estudio donde se desarrolló la presente investigación,” encontraron que los rendimientos de los productores en rubros como café y cítricos, estaban por debajo de los promedios nacionales, sin embargo aunque estos rendimientos fueron bajos, dado que los productores no aplican fertilizantes, ni agroquímicos; se mantiene la calidad del suelo, no obstante solo 20 % de los productores realiza prácticas de conservación, dejando el suelo desnudo en la época de lluvia, lo que favorece los procesos erosivos. Esto es debido a que los sistemas de cultivos asociados a pesar de promover una baja intensidad de uso de la tierra no han mejorado sustancialmente la calidad del suelo con respecto a las condiciones naturales.

## Conclusiones

Los sistemas agroforestales estudiados han mejorado considerablemente, la fertilidad

del suelo al incrementar el contenido de materia orgánica del suelo, lo que aumenta la disponibilidad de nutrientes producto de la mineralización de la materia orgánica, sin embargo, las prácticas adoptadas no han sido suficientes para mejorar la calidad del suelo, ya que se observó que los sistemas agroforestales difieren en calidad con el bosque natural.

Los sistemas cafetaleros que se asociaron con naranja y guamo, fueron los que presentaron los valores más altos de materia orgánica, potasio y magnesio disponibles, así mismos los mismos permitieron mitigar los problemas de acidificación del suelo, al no observarse un ligero incremento del pH, no obstante, se hace necesario mejorar la disponibilidad de P en el suelo, así como complementar este sistema con prácticas adicionales que reduzcan las pérdidas por erosión.

En los sistemas agroforestales el número de esporas fue bajo en comparación al bosque natural, porque se recomienda incrementar el contenido de calcio disponible y así aumentar el pH del suelo, para lograr incrementar el número de esporas y mejorar la fertilidad del suelo, particularmente la disponibilidad de P, que es un elemento crítico en estos sistemas.

## Autores:

<sup>1</sup>Ingeniero Agrónomo (UNEFM), maestría en manejo de trópicos secos (UNEFM), Doctor en Planificación de desarrollo regional (LUZ) profesor asociado Universidad Francisco de Miranda (UNEFM) e investigador V del Instituto nacional de investigaciones Agrícolas (INIA), autor de más 20 trabajos en revista arbitradas e indexadas. Director de más de 5 tesis de pregrado y maestría. Acreditado en el PEII como Investigador Nivel B. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).

<sup>2</sup>Ingeniero Agrónomo MSc. en Ciencias del suelo; Doctorando en Ciencias del Suelo (UCV); profesor asociado Universidad Lisandro Alvarado. Autor

de más de 40 publicaciones en revistas científicas arbitradas e Indexadas, Director de más de 10 tesis de pre-grado y maestría. Acreditado en el PEII como Investigador Nivel B. Correo:duiliorres@ucla.edu.ve

<sup>3</sup>Técnico superior agrícola (TSU), profesional de asistencia de investigación (PAI) del Instituto Nacional de investigaciones agrícolas de Venezuela (INIA), autor de más de 5 publicaciones en revista arbitradas y artículos de divulgación.

<sup>4</sup>Ingeniero agrónomo egresado de la Universidad nacional experimental Francisco de Miranda (UNEFM). Profesional de asistencia de investigación (PAI) del instituto nacional de investigaciones agrícolas de Venezuela (INIA).

### Referencias bibliográficas:

- Alegre J, Meka R, Arevalo L, Guzmán W y Faminow M. 2005. Planted tree fallows for improving land productivity in the humid tropics of Peru. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 110: 104–117.
- Andrade H, Marín L y Pachón D. 2014. Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Líbano, Tolima, Colombia. *Bioagro* 26(2): 127-132.
- Andrade O, Arrieche I y León M. 2015. Diagnóstico de la fertilidad de suelos agrícolas en el estado Yaracuy basado en análisis de laboratorio. *Venesuelos* 22(1): 5-15.
- Arellano R, Aular M, Pineda N y Becerra L. 2009. Aptitud física de las áreas cafetaleras de la microcuenca del río Monaicito, estado Trujillo-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana* 50(2): 247-262
- Bouyoucos G. 1936. Directions for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method. *Soil Sci.* 4: 225 – 228.
- Cairo P, Machado J, Reyes A, Manes A. 2004. El guamo (*Inga vera* Willd) como control de la acidificación de los suelos en sistemas agroforestales bajo café. *Centro Agrícola* 31 (1-2):118-120.
- Cisneros Cy De Prager M. 2015. Solubilización de fosfatos por hongos asociados a un Andisol de tres agroecosistemas cafeteros de la región andina colombiana. *Ingenium* 9(25): 37-46.
- Doll E y Lucas R. 1973. Testing soil for potassium, calcium and magnesium. In Walsh, L.; J. Beaton (Eds) *Soil Testing and Plant Analysis*. American Society of Wisconsin, Soil Science Society of America. *Agronomy/Soil Science Society of America*. Madison, EUA. pp. 133-152.
- Evizal R, Sugiatno F y Nurmayasari I. 2016. Shade tree species diversity and coffee productivity in Sumberjaya, West Lampung, Indonesia. *Biodiversitas* 17 (1): 234-240.
- Farfán V, Baute F y Sánchez, J. 2010. Efecto de la distribución espacial del sombrero de especies leguminosas sobre la producción de café Cenicafé 61(1):35-45
- Gavlak R, Horneck D, Miller J y Kotuby J. 2003. *Soil Plant and Water Reference Methods for the Western Region*. 2da ed. WCC-103 Pub. Colorado State University, Fort Collins. EUA. pp. 37-47.
- Gerdemann J y Nicholson T. 1963. Spores of mycorrhizal endogone extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Mycol. Soc.*46: 235-244.
- González A y Acosta Y. 2007. Indicadores de sostenibilidad en la sierra del estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias* 7(2):126-133.
- Hanisc S, Dara Z, Brinkmann K y Buerkert A. 2012. Soil fertility and nutrient status of traditional Gayo coffee agroforestry systems in the Takengon region, Aceh Province, Indonesia. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*,112(2), 87-100.

- INFOSTAT. 2002. InfoStat. Ver. 1.1. Grupo InfoStat. Fac. Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Lojka B, Preininger D, Van Damme P, Rollo A y Banout J. 2012. Use of the Amazonian tree species *Inga edulis* for soil regeneration and weed control. *Journal of Tropical Forest Science*: 89-101.
- López M, López de Rojas I, España M, Izquierdo A y Herrera L. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agronomía Tropical* 57(1): 31-43.
- Lozano Z, Hernández R, Pulido M, Flores B y Rondón, T. 2010. Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, inceptisol y ultisol, por el uso con cultivo de cítricas. *Bioagro* 22(3): 201-210.
- Lugo D y Rey J. 2009. Evaluación de la vulnerabilidad a la degradación agroambiental a través del uso del sistema MicroLEIS en los suelos de los llanos centrales de Venezuela. *Revista internacional de contaminación ambiental* 25(1): 43-60.
- Machado, M y Ríos L. 2016. Sostenibilidad en agroecosistemas de café de pequeños agricultores: revisión sistemática. *Idesia (Arica)* 34(2): 15-23.
- Miller R y Kissel D. 2010. Comparison of soil pH methods on soils of North America. *Soil Sci. Am.* 74(1): 310-316.
- Mogollón J, García J, Sánchez L, Chacón N y Araujo J. 1997. Nitrógeno potencialmente disponible en suelos de cafetales bajo diferentes árboles de sombra. *Agronomía Trop.* 47:87-102.
- Mogollón J y Tremont O. 2002. Efecto del cambio de uso de la tierra sobre la actividad ureásica en agroecosistemas cafetaleros del estado Falcón. *Croizatia*. 3:16-25.
- Mogollón J y Martínez A. 2009. Variación de la actividad biológica del suelo en un transecto altitudinal de la sierra de San Luís, estado Falcón. *Agronomía Tropical* 59(4):469-479
- Mogollón J, Torres D y Martínez A. 2010. Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 22(3): 217-222.
- Montaño N, Ayala F, Bullock S, Briones O, García F, García R y Troyo E. 2016. Almacenes y flujos de carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: Síntesis y perspectivas. *Revista Terra latinoamericana* 34(1): 39-59.
- Nieto J, Ordaz V y Valdés E. 2012. Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. *Terra Latinoamericana* (1):249-259.
- Olsen S, Cole C, Watanabe, F y Dean L. 1954. Estimation available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ N° 939. Washington, EUA. 19 p.
- Pezarico, C, Vitorino A, Mercante F y Daniel O. 2013. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Revista de Ciências Agrárias/ Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 56(1): 40-47.
- Pratt P. 1951. Potassium removal from Iowa soils by greenhouse and laboratory procedures. *Soil Science of America* 72: 107-117.
- Rey J, Rodríguez M, Cortez A, Lobo D, Ovalles F, Gabriels D y Parra R. 2012. Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela, IV región los Andes. *Bioagro* 24(2):115-120.
- Siles P, Harmand J y Vaast P. 2010. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate

of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. *Agrofor Syst* 78: 269-286.

Trejo D, Ferrera R, García R, Varela I, Lara I y Alarcón, A. 2011. Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Revista chilena de historia natural* 84(1): 23-31.

Walkley A y Black, I. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 34: 29-38.