

INTERSEDES

REVISTA ELECTRÓNICA DE LAS SEDES REGIONALES DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA



Alusivo al XL Aniversario de la Sede Guanacaste

*Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en
fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi.*

Noelia Chavarría Bolaños, Ana Cecilia Tapia Fernández, Gabriela Soto
y Elias de M. Virginio Filho

WWW.INTERSEDES.UCR.AC.CR
Vol. XIII, N°26 (2012)
ISSN 2215-2458

Consejo Editorial Revista InterSedes
Director de la Revista:
Dr. Edgar Solano Muñoz. Sede de Guanacaste

Consejo Editorial:
M.Sc. Jorge Bartels Villanueva. Sede del Pacífico
M.Sc. Oriester Abarca. Sede del Pacífico
M.L. Guillermo González. Sede Atlántico
Dra. Marva Spence. Sede Atlántico
M.L. Mainor González Calvo. Sede Guanacaste
Ing. Ivonne Lepe Jorquera. MBA. Sede Limón
Dra. Ligia Carvajal. Sede Limón

Editor Técnico:
Bach. David Alonso Chavarría Gutiérrez. Sede Guanacaste
Asistente:
Guadalupe Ajum. Sede Guanacaste
Fotografía de caratula: cortesía de Roberto Cerdas

Consejo Científico Internacional
Dr. Raúl Fonet-Betancourt. Universidad de Bremen, Alemania.
Dra. Pilar J. García Saura. Universidad de Murcia.
Dr. Werner Mackenbach. Universidad de Potsdam, Alemania. Universidad de Costa Rica.
Dra. Gabriela Marín Raventós. Universidad de Costa Rica.
Dr. Mario A. Nájera. Universidad de Guadalajara, México.
Dr. Xulio Pardelles De Blas. Universidad de Vigo, España.
M.Sc. Juan Manuel Villasuso. Universidad de Costa Rica.

Indexación: Latindex / Redalyc
Licencia de Creative Commons

Revista Electrónica de las Sedes Regionales de la Universidad de Costa Rica, todos los derechos reservados.

Intersedes por intersedes.ucr.ac.cr está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Costa Rica License.



Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi.

The effect of different management systems of soil quality in the coffee farms from Turrialba and Orosi

Noelia Chavarría Bolaños¹, Ana Cecilia Tapia Fernández², Gabriela Soto³, Elias de M. Virginio Filho⁴

Recibido: 22.05.12.

Aprobado: 30.07.12

Resumen

El presente estudio se realizó en 18 fincas cafetaleras ubicadas en la zona de Turrialba y Orosi, en donde se estudiaron comparativamente sistemas de manejo de café orgánico, sostenible y convencional y su impacto sobre la calidad de los suelos, así mismo se estudiaron 6 fincas de café a pleno sol y 6 bosques, los cuales se utilizaron como patrones de comparación.

Para evaluar el efecto de los sistemas de manejo sobre los indicadores de calidad de suelo se midieron indicadores químicos, (pH, K, Ca, Mg, P, Cu, Fe, Mn, Zn, Acidez, BAS, %SA, C activo y C mineral), físicos, (densidad aparente, DA) y biológicos, (UFC de bacterias y hongos, %MO, respiración microbiana, número de lombrices, biomasa de la cobertura y la hojarasca). Se observaron diferencias significativas entre tratamientos con las variables, DA, UFC de hongos, %MO, respiración microbiana, número de lombrices y biomasa de la hojarasca.

Se calculó un índice de calidad de suelo aditivo (ICSA), el cual fue mayor en el sistema bosque. El análisis de componentes principales muestra, una mayor influencia del tipo de suelo sobre los indicadores evaluados, más que los mismos sistemas de manejo estudiados.

Se concluye que entre todos los sistemas evaluados el bosque presentó la mejor calidad de suelo y que entre los sistemas de manejo de café estudiados, las mejores condiciones las presenta el sistema orgánico y las condiciones más críticas el pleno sol.

Brief

The current work took place in 18 coffee farms located in the area of Turrialba and Orosi, comparing the management system of organic coffee, sustainable and conventional, and its impact regarding soil quality. Furthermore, 6 coffee farms were analyzed in broad day light and 6 forests were used as a comparison pattern.

To evaluate the effect of management systems over the soil quality some chemical indicators were measured (pH, K, Ca, Mg, P, Cu, Fe, Mn, Zn, Acidity, BAS, %SA, active C and mineral C), physical (bulk density BD) and biological (bacterial CFU and fungi, microbial respiration, number of earthworms, biomass cover and leaf layer). Some significant differences were observed among the treatment with variables BD, fungi CFU, %Om, microbial respiration, number of earthworms and leaf layer biomass.

¹ Costarricense. Agrónoma. Universidad de Costa Rica. Sede del Atlántico. Email: nochava@gmail.com.

² Costarricense. Fitopatóloga. Universidad de Costa Rica. Sede Atlántico. Email: ana.tapia@ucr.ac.cr

³ Costarricense. Agroecología. CATIE. Email: gabysoto@catie.ac.cr

⁴ Brasileño. Agro foresteria tropical. CATIE. Email: eliasdem@catie@catie.ac.cr

A (SQI) soil quality index additive was calculated which was larger in the forest system. The analysis of the main components showed a bigger influence of the type of soil over the evaluated indicators; more than the same studied management systems.

To conclude, among all the evaluated systems the forest displayed the best soil quality and between the coffee management systems analyzed, the best conditions developed in the organic system and the more critical conditions in broad daylight.

Introducción

La caficultura en años anteriores se caracterizó por emplear un modelo de producción intensivo, que trajo consigo consecuencias negativas al medio ambiente. Debido a estas repercusiones y a la conciencia ambientalista generada en los últimos años, las preferencias de los consumidores hacia productos más sanos, que generen un menor impacto ambiental y que a su vez procuren mayores beneficios económicos y sociales para los productores, ha venido en aumento (Giovannucci, 2001).

La producción de café que trata de cumplir con estos principios, se ha diferenciado mediante un sello de certificación, que induce a precios superiores a los convencionales (Oxfam, 2005). Estos sellos de certificación en general, son sistemas de garantía específicos para innovar, desarrollar, proteger la actividad cafetalera, para que esta sea más competitiva, eficiente, productiva y de calidad (Castro et al. 2004).

El suelo es un componente de mucha importancia en todo sistema productivo, la calidad de este se puede medir a través de indicadores de calidad de suelo, los cuales según Trejo et al. (1999), son un parámetros que permite medir una característica, la cual define el estado de las propiedades físicas, químicas y biológicas que hacen que un suelo sea apto o no para determinadas labores y que proveen información acerca de qué tan adecuadamente está funcionando un suelo.

El presente estudio tuvo como objetivo medir el efecto de los sistemas de manejo orgánicos y sostenibles, certificados y convencionales, no certificados, en fincas cafetaleras piloto en el ámbito del proyecto CAFNET⁵ en la zona de Turrialba y Orosi, sobre la calidad del suelo. Adicionalmente la presente investigación permitió conocer las condiciones edafológicas actuales de las fincas en donde se está desarrollando el proyecto, con el fin de determinar mediante estudios posteriores, los posibles efectos de los diferentes manejos llevados a cabo en las zonas de estudio.

⁵ CAFNET ó Coffee agro-forestry in Central America, East Africa and India, es un proyecto mundial que involucra a Costa Rica, Guatemala y Nicaragua, con otros sitios en la India y el Este de África. En América Central el proyecto fue coordinado por CATIE y a nivel intercontinental por el CIRAD, con la participación de diferentes instituciones socias. Para el presente estudio se contó con el apoyo complementario de la UCR. El principal propósito de CAFNET es vincular el manejo sostenible y los servicios ambientales con mercados que compensen estos servicios, mejorando de esta forma el bienestar de las comunidades cafetaleras mientras éstas conservan los recursos naturales en tres regiones de alta diversidad.

Materiales y métodos

Ubicación del área de estudio y selección de fincas

El estudio se llevó a cabo en las fincas donde se ejecuta el proyecto CAFNET; estas se encuentran ubicadas en los cantones de Paraíso y Turrialba, específicamente en los distritos de Orosi y Cachí de Paraíso y en los distritos de Turrialba, La Suiza, Pavones, Tuis, Tayutic, Santa Rosa y Tres Equis de Turrialba, lugares en donde los andisoles, inceptisoles y ultisoles, son los órdenes de suelo predominantes.

Se evaluaron 3 sistemas de manejo, uno orgánico, uno sostenible y uno convencional, además de un sistema de manejo pleno sol y un bosque, ambos utilizados como patrones de comparación, los cuales se encontraban en áreas cercanas a las fincas donde se ejecuta el proyecto. Para cada sistema de manejo se evaluaron 6 fincas y para el patrón de comparación bosque, 6 bosques. Dentro de cada finca y cada bosque se estableció una parcela de 14m X 15m, la cual se ubicó en un lugar representativo con las condiciones predominantes del sistema.

Muestreo para el análisis químico de suelo

Para realizar el análisis químico, dentro de la parcela establecida se escogieron 2 plantas de café y 2 árboles de sombra. A partir de la base de cada uno de ellos, se tomaron 3 submuestras, una de las submuestras se tomó a una distancia de 1m, en dirección a la entrecalle y las otras 2 submuestras se tomaron a una distancia de 0.5m, una en dirección a la calle de café a la que pertenece dicha planta ó el árbol de sombra, y la otra se tomó en medio de los otros dos puntos de muestreo. En el caso del sistema bosque se escogieron cuatro árboles, distribuidos cuadrangulamente, una de las muestras fue tomada a 1m de distancia y las otras dos a 0.5m de distancia de los árboles seleccionados. En total se tomaron 12 submuestras por parcela, a una profundidad de 20 cm. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio del ICAFE, en donde se realizó el análisis químico de macro y micro nutrientes, pH y acidez.

Determinación de macro y micro nutrientes, pH y acidez

El análisis de P, K y micro nutrientes (Cu, Zn, Fe y Mn), se realizó mediante el método Olsen modificado, pH 8.5. Las lecturas de K y elementos menores se realizaron a través de absorción atómica y la lectura del P se realizó con ayuda de un colorímetro, utilizando como indicador azul de molibdeno. La extracción de Ca, Mg y acidez se hizo con KCl 1M y la lectura se realizó a través de absorción atómica. El pH de los suelos fue determinado en agua destilada y con ayuda de un pH-metro (ICAFE, 2010).

Muestreo para la determinación de carbono mineral y orgánico

Para este muestreo dentro de la parcela establecida, se escogieron 2 plantas de café y dos árboles de sombra (los mismos utilizados para extraer las muestras del análisis químico de suelo), a partir de la base de cada uno de ellos, se tomaron 2 submuestras, a una distancia de 1m, en dirección a la calle y la entrecalle. En el caso del sistema bosque se escogieron cuatro árboles, distribuidos cuadrangularmente y las muestras fueron tomadas a 1m de distancia de cada uno de estos árboles. En total se tomaron 8 submuestras por parcela a una profundidad de 10 cm. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Química de la Universidad de Costa Rica de la Sede del Atlántico, en donde se realizaron los análisis correspondientes.

Determinación de carbono mineral y orgánico

El carbono orgánico se determinó a través de la metodología del test de campo, propuesta por Weil et al. (2003), descrita por Card (2004).

El carbono mineral se determinó mediante la pérdida en la ignición (LOI), descrita por Veres (2002).

Muestreo y análisis de Densidad aparente (DA)

Para la determinación de la DA, se utilizaron cilindros metálicos de 5cm de diámetro con 5cm de altura. Se extrajeron tres muestras por parcela realizando un recorrido en forma triangular. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Química de la Universidad de Costa Rica de la Sede del Atlántico, en donde se les determinó el peso húmedo y el peso seco, para esta última determinación las muestras se colocaron en bolsas de papel, y se secaron a 110°C durante 24h en una estufa. La DA se obtuvo a través de la división del peso seco de cada muestra entre el volumen del cilindro al que corresponde (Henríquez y Cabalceta, 1999).

Muestreo para la determinación del porcentaje de materia orgánica (%MO), recuento de UFC de hongos y bacterias y respiración microbiana

Se utilizó la misma metodología de muestreo empleada para la determinación de carbono mineral y orgánico. En este caso las muestras fueron llevadas a diferentes laboratorios en donde se realizaron los análisis correspondientes.

Determinación del porcentaje de materia orgánica (%MO)

La materia orgánica se determinó en el Laboratorio de Química de la Universidad de Costa Rica, a través de pérdida en la ignición (LOI) descrita por Veres (2002).

Recuento de UFC de hongos y bacterias

Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Fitopatología de la Universidad de Costa Rica, de acuerdo a la metodología propuesta por Weaver (1994), con el fin de contabilizar las Unidades Formadoras de Colonias. Para el crecimiento de hongos se utilizó el medio papa agar dextrosa (PDA), al cual se le adicionó antibiótico (cloranfenicol), y para el crecimiento de las bacterias se utilizó agar nutritivo.

Las UFC están expresadas en número de UFC g-1 de suelo seco, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{UFC} = (\text{UFC} \times \text{C})/\text{PS}$$

Donde: UFC = UFC contadas en la placa petri; C = concentración de la dilución; y PS = peso seco de la muestra de suelo.

El peso seco se determinó pesando 100g de suelo húmedo, en bolsas de papel, las cuales posteriormente fueron colocadas en una estufa a 80°C durante 48 horas, seguidamente se pesaron para determinar tanto el peso seco, como el contenido de humedad.

Respiración microbiana

En el Laboratorio de Microbiología del Centro de Investigaciones Agronómicas (CIA), se determinó la respiración microbiana, a través de la exposición de una muestra de suelo a una solución de NaOH y el cálculo posterior de la concentración de CO₂ capturado en la solución de NaOH, mediante titulación con HCl.

Biomasa de la cobertura y la de hojarasca

Para determinar la biomasa de la cobertura y la hojarasca, se tomaron tres muestras por parcela con ayuda de un marco de madera de 50 x 50 cm. El marco se lanzó al azar dentro de la parcela y se recogió toda la hojarasca y restos vegetales fácilmente desprendibles que quedaron dentro del marco, así mismo la cobertura vegetal que quedó en el interior del marco fue recortada; cada una de las muestras de hojarasca y de restos vegetales, se colocaron por separado en bolsas plásticas para posteriormente ser llevadas al Laboratorio de Química de la Universidad de Costa Rica de la Sede del Atlántico, en donde, se les determinó el peso húmedo y el peso seco; para este último las muestras se colocaron en bolsas de papel y se secaron en una estufa a 65 °C durante 48 horas.

Lombrices de tierra

Las lombrices de tierra fueron evaluadas mediante un recuento físico en un área de 0.25m² (50 x 50cm) a una profundidad de 10cm; se realizaron 3 muestreos por parcela, siguiendo un

recorrido triangular. El número total de lombrices encontradas en cada punto de muestreo se anotó y posteriormente las mismas fueron reintegradas en el suelo.

Índice de calidad de suelo aditivo (ICSA)

Se calculó el ICSA, con el fin de calificar la calidad de los suelos estudiados. Se siguió la metodología propuesta por Andrews et al (2002), donde se explica que para unos indicadores un mayor valor indica una mejor calidad y que para otros un menor valor indica una mejor calidad. Por ello los indicadores se clasificaron en:

- **Mayor es mejor:** indicadores cuyos valores altos son considerados como buenos.
- **Menor es mejor:** Indicadores cuyos valores bajos son considerados como buenos.

Se calculó un índice de calidad de suelo (ICS) para cada indicador de cada una de las parcelas en estudio, mediante las siguientes formulas:

Mayor es mejor: ICS= valor de cada indicador/valor más alto del indicador

Menor es mejor: ICS= valor más bajo del indicador/valor de cada indicador

Mediante estas fórmulas se obtienen valores entre 0-1, para cada uno de los indicadores y así finalmente calcular el ICSA para cada una de las parcelas en estudio. El ICSA se obtiene mediante la sumatoria de todos los ICS de todos los indicadores. Entre mayor sea el valor del ICSA mejor es la calidad del suelo del sistema en estudio.

Análisis de los resultados

Se realizó un ANOVA para un estudio observacional, donde se utilizaron criterios de inclusión-exclusión para elegir las unidades de estudio, (fincas).

El modelo de análisis es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + S_j + \epsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} : es el valor de la variable respuesta en la parcela que tiene el tipo i-ésimo de manejo y el tipo j-mo de suelo.

μ : es media general

T_i : es el efecto del i-ésimo sistema de manejo

S_j : efecto del j-ésimo tipo de suelo

ϵ_{ij} : es el término de error

Se utilizaron sumas de cuadrados parciales tipo 3, para proporcionar pruebas ajustadas. Para detectar diferencias entre medias se utilizaron pruebas de T, con un nivel de significación de 0.05.

Para visualizar las relaciones entre variables y tratamientos, se realizó un análisis de componentes principales y gráficos biplot con los ejes necesarios para explicar al menos un 40% de la variabilidad total.

Resultados y discusión

Caracterización de los sistemas seleccionados y prácticas de manejo implementadas en los mismos

Las fincas orgánicas tienen entre 9 y 10 años de haber sido certificadas y las sostenibles entre 3 y 8 años. Todos los sistemas evaluados están cultivados con la variedad caturra, sin embargo la edad del cultivo varía entre los mismos, sobre todo entre el sistema orgánico y el resto de los sistemas, tal como se observa en dicho cuadro.

El tipo y el porcentaje de sombra son unas de las características que marcan la diferencia entre los sistemas evaluados. El sistema orgánico es el que presenta una mayor diversidad de árboles de sombra, todas las parcelas en estudio bajo este sistema de manejo cuentan con sombra de poró+frutales+maderables, los cuales en promedio proporcionaban un 47% de sombra al cultivo. Los sistemas sostenible y convencional proveen de un 9% y 15% de sombra al cultivo respectivamente, dicha sombra es proporcionada por árboles de poró+frutales ó por árboles de poró+maderables, pero ninguna cuenta con la combinación de poró+frutales+maderables, como si ocurre en las parcelas orgánicas. El porcentaje de pendiente es muy parecido entre los sistemas de producción evaluados, los mismos oscilaron entre 11% y 18%.

El tipo de cobertura es muy similar en los sistemas de manejo sostenibles, convencional y pleno sol, presentándose maleza en competencia (MC) y en algunos casos suelo desnudo (SD). En el sistema de manejo orgánico predominan coberturas de hoja ancha, sin embargo en algunas parcelas estas se encuentran en competencia con el cultivo. El tipo de hojarasca es la misma en los sistemas de manejo orgánico, sostenible y convencional, (hojarasca de café + hojarasca de especies de sombra), sin embargo la cantidad de hojarasca procedente de los árboles de sombra es mayor en los sistemas de manejo orgánico y convencional que en el sostenible (Cuadro 4). El sistema de manejo pleno sol, como es de esperar, solo presenta hojarasca procedente de las plantas de café.

El tipo de suelo varía entre cada uno de los sistemas evaluados, así por ejemplo, las parcelas orgánicas tienen suelos de tipo inceptisoles y ultisoles, las sostenibles presentan suelos andisoles y ultisoles y las parcelas convencionales poseen suelos de tipo inceptisol y ultisol (Cuadro 1). Tanto las parcelas correspondientes al sistema pleno sol y al bosque presentan suelos inceptisoles, ultisoles y andisoles.

Cuadro 1. Caracterización de los diferentes sistemas de manejo de café evaluados en la zona de Turrialba y Orosi

Característica	Orgánico	Sostenible	Convencional	Pleno Sol
Años de Certificación	9-10	3-8	No certificada	No certificada
Edad promedio Cultivo	25	11	16	12
Variedad del cultivo	Caturra	Caturra	Caturra	Caturra
%Pendiente terreno	11	15	17	18
Tipo de sombra	P+F+M	P+F ó P+M	P+F ó P+M	No aplica
% Sombra	47	9	15	No aplica
Tipo Cobertura	Hoja ancha	MC y SD	MC y SD	MC y SD
Tipo Hojarasca	Café+ SS	Café+ SS	Café+ SS	Café
†Tipos de suelo	2Ept/4Ult	2And/4Ult	1Ept/5Ult	2Ept/2And/ 2Ult*

P+F+M: Poró+Frutales+Maderables, P+F: Poró+Frutales, P+M: Poró+Maderables

MC: Maleza en competencia, SD: suelo desnudo. Sp de sombra: especies de sombra

Ept: Inceptisol; Ult: Ultisol; And: Andisol. * El sistema bosque presentó estos mismos tipos de suelo.

†Según ICAFE-CIA, (2001).

El cuadro 2 muestra algunas de las principales prácticas de manejo implementadas en los diferentes sistemas de producción de café evaluados. En los sistemas orgánico, sostenible y convencional, el número de podas de los árboles de poró es el mismo, la diferencia radica en la intensidad de la poda, la cual es leve en el sistema orgánico, moderada en el sostenible y fuerte en el sistema convencional.

La fórmula del fertilizante es igual para el sistema sostenible, convencional y pleno sol, sin embargo, el número de aplicaciones por año y los gramos de abono aplicados varían, el sistema sostenible y el pleno sol realizan 2 aplicaciones de FC y 1 de FN por año, a una dosis de 65-75g de FC y de 30-75g de FN, por aplicación. El sistema convencional realiza 1 aplicación de FC y FN, a una dosis de 90g de FC y de 30-50g de FN, por aplicación.

El sistema orgánico es el único sistema que aplica abonos orgánicos, a una dosis única por año de 1500 gramos/planta, sin embargo es importante hacer la observación de que en 2 de las parcelas estudiadas, las aplicaciones se realizan cada dos años, caso contrario ocurre con las aplicaciones de cal, ya que en todas las parcelas orgánicas esta práctica se realiza todos los años, tal y como también ocurre en el sistema sostenible. Los sistemas convencional y pleno sol, no aplican cal (Cuadro 2).

En cuanto al control de hierbas los sistemas sostenible y pleno sol realizan en promedio cuatro aplicaciones de herbicidas por año, el sistema convencional realiza dos, pero las combina con dos chapeas por año, el sistema orgánico es el único sistema que no aplica herbicidas y en promedio se realizan tres chapeas al año (Cuadro 2).

Cuadro 2. Prácticas de manejo implementadas en los diferentes sistemas de café evaluados, en la zona de Turrialba y Orosi

Práctica Manejo	Orgánico	Sostenible	Convencional	Pleno Sol
Nº podas de poro/año	2 leves	2 moderad	2 Fuertes	No aplica
Tipo de abono	*Orgánico	FC y FN	FC y FN	FC y FN
Nº abonadas/año	1	2 FC/1FN	1 FC/1FN	2FC/1FN
Gramos abono/pt/abonada	30 -1500	65-75FC 30-75FN	90FC 30-50FN	75FC 30-75FN
Nº aplicaciones Cal/año	1	1	0	0
Nº y tipo de control hierbas/año	3 Ch	4 AQ	2Ch + 2 AQ	4 AQ

* Orgánico incluye: compost, broza, gallinaza, bagazo, boñiga, cachaza.

FC: fórmula completa, FN: fuentes nitrogenadas.

Ch: Chapeas AQ: aplicación química

pt: planta

Análisis de variancia

Debido a los diferentes tipos de suelos existentes dentro y entre los sistemas estudiados, se procedió a ajustar las medias de los resultados, a estas se les sustrajo el efecto del tipo de suelo. Esto se realizó con el fin de poder cumplir con el objetivo principal de este estudio, de medir únicamente el efecto de los sistemas de manejo, sobre la calidad del suelo. De esta forma se trató de anular el efecto del tipo de suelo, sobre los indicadores estudiados.

Indicadores químicos y físicos

Ninguno de los indicadores químicos evaluados presentó diferencias significativas entre los sistemas estudiados, sin embargo el indicador físico densidad aparente si presentó diferencias (Cuadro 3).

Nutrientos, pH y acidez

Pese a que se ajustaron las medias para eliminar el efecto tipo de suelo, no se encontraron diferencias significativas entre los indicadores químicos estudiados. Sin embargo en el cuadro 3 se puede visualizar, que el nivel de pH de todos los sistemas está por debajo del nivel óptimo, además

que el nivel de Mg solo se encuentra dentro del rango adecuado en el bosque y el P en el sistema sostenible.

El nivel de K se encuentra dentro del rango óptimo en todos los sistemas de manejo, al igual que el Ca, aunque este último es un poco bajo en el sistema pleno sol.

Los niveles de Zn están por debajo del rango adecuado en todos los sistemas estudiados y la acidez en todos los casos es considerada alta, aunque el %SA en todos los sistemas no supera el 50%, considerado como el nivel a partir del cual se producen daños en la producción de café (Zamora, 1998). La suma de bases en todos los sistemas de manejo evaluados revela una fertilidad moderada, excepto en el pleno sol en donde la sumatoria de bases indica una fertilidad baja.

Densidad aparente

La densidad aparente si presentó diferencias significativas entre los diferentes sistemas evaluados ($p < .0001$) (Cuadro 3) Los menores valores de D_a se encontraron en el sistema bosque y los valores mayores en los sistemas sostenible y pleno sol, valores intermedios se encontraron en el sistema orgánico. El sistema convencional no mostró densidades aparentes estadísticamente distintas, con respecto a los sistemas sostenible, pleno sol y orgánico.

La poca intervención humana en las áreas boscosas, un mayor número de lombrices y un mayor porcentaje de materia orgánica, tal y como se observa en el cuadro 4, pueden explicar una menor D_a en el sistema bosque; según Henríquez y Cabalceta (1999), la MO disminuye la D_a , ya que esta incorpora materiales menos densos dentro de un mismo volumen de suelo. Las lombrices por su parte contribuyen a disminuir la D_a , al modificar físicamente el sustrato, a través de sus actividades excavadoras, lo cual genera una mayor aireación y homogeneización del sustrato (Domínguez et al. 2009).

Elevadas cantidades de hojarasca encontradas en el sistema de manejo orgánico (Cuadro 4), la aplicación de abonos orgánicos y la utilización de una cobertura vegetal en algunas fincas pueden explicar bajos valores de D_a en este sistema, según George (2006), los materiales vegetales acumulados, como la hojarasca y la cobertura vegetal, pueden formar un tipo de colchón de MO, lo que se traduce en valores de D_a bajos en las capas superficiales del suelo.

Los sistemas pleno sol y sostenible, son los sistemas que presentaron las densidades aparentes más elevadas, esto muy posiblemente se deba por la baja cantidad de hojarasca encontrada en ambos sistemas, y también por el tipo de control de malezas que se realiza en los mismos, ya que en estos sistemas, el control de malezas se realiza solamente de manera química y con un promedio de 4 aplicaciones de herbicidas por año. Lo cual hace que el suelo de ambos

sistemas permanezca prácticamente desnudo la mayor parte del año, y no cuente con un colchón de material vegetal, como si lo tiene el sistema orgánico y el bosque.

El sistema convencional no mostró una densidad aparente estadísticamente distinta, con respecto a los sistemas sostenible, pleno sol y orgánico. Posiblemente esto se deba porque los porcentajes de materia orgánica encontrados en el sistema convencional, no mostraron diferencias estadísticas con respecto a estos sistemas.

Así mismo se puede atribuir esta similitud, porque en el sistema convencional se encontró una cantidad de hojarasca semejante a la hallada en el sistema orgánico, sin embargo el tipo de control de malezas, (control químico combinado con chapeas) y la no aplicación de abonos orgánicos, hacen que el colchón de material vegetal sobre el suelo no sea tan abundante como en el sistema orgánico y por ello la densidad aparente de este sistema tienda a parecerse a los sistemas sostenible y pleno sol, pero a la vez al sistema orgánico.

Ninguno de los valores encontrados es sinónimo de compactación de suelo, ya que según Henríquez y Cabalceta (1999), en términos generales valores mayores a 1800Kg/m³ son indicativos de compactación de suelo, además Porras (2006), menciona que el rango de densidad óptimo para café es de 700 a 1,200 Kg/cm³.

Cuadro 3. Medias (\pm EE) y análisis de varianza de los indicadores químicos y físicos de los suelos de los 5 sistemas evaluados en la zona de Turrialba y Orosi

Indicadores	Org	Sost	Conv	P.Sol	Bosque	Valor p ANOVA	£Ámbito óptimo
pH (cmol/L)	4.91 \pm 0.19	4.81 \pm 0.18	4.79 \pm 0.2	4.68 \pm 0.17	4.98 \pm 0.18	0.7967	5.6-6.5
K (cmol/L)	0.32 \pm 0.12	0.44 \pm 0.11	0.38 \pm 0.12	0.50 \pm 0.11	0.37 \pm 0.11	0.8427	0.4-3
Ca (cmol/L)	7.96 \pm 3.0	7.84 \pm 2.9	5.54 \pm 3.10	3.39 \pm 2.73	13.09 \pm 2.81	0.1820	4-36
Mg (cmol/L)	1.45 \pm 0.57	1.72 \pm 0.56	1.10 \pm 0.59	0.78 \pm 0.52	2.92 \pm 0.54	0.0805	2-18
P (mg/L)	16.02 \pm 7.2	35.16 \pm 6.98	15.43 \pm 7.41	10.45 \pm 6.52	19.51 \pm 6.7	0.1368	20-80
Cu (mg/L)	12.51 \pm 2.8	11.48 \pm 2.7	11.50 \pm 2.86	15.87 \pm 2.52	8.86 \pm 2.60	0.4341	3-20
Fe (mg/L)	110.80 \pm 61.0	127.87 \pm 59.4	167.15 \pm 63.1	283.0 \pm 55.5	281.80 \pm 57.3	0.1319	20-80
Mn (mg/L)	50.03 \pm 17.6	88.66 \pm 17.13	34.86 \pm 18.2	44.17 \pm 16.0	18.02 \pm 16.51	0.0824	10-100
Zn (mg/L)	2.46 \pm 0.42	2.55 \pm 0.41	1.65 \pm 0.44	1.75 \pm 0.39	2.35 \pm 0.40	0.3471	6-36
Acid (cmol/L)	1.96 \pm 0.70	1.60 \pm 0.7	1.70 \pm 0.72	2.18 \pm 0.63	1.00 \pm 0.65	0.7400	0.5-1
BAS (cmol/L)	9.74 \pm 3.5	10.00 \pm 3.41	6.99 \pm 3.62	4.66 \pm 3.19	16.38 \pm 3.29	0.1531	5-12
SA (%)	19.29 \pm 10.9	18.48 \pm 10.7	26.21 \pm 11.32	32.59 \pm 9.96	26.10 \pm 10.28	0.8616	10-50
C activo (mg/Kg suelo)	367.76 \pm 33.78	421.91 \pm 32.91	366.82 \pm 34.94	332.60 \pm 30.76	379.88 \pm 31.72	0.4079	
C mineral (%)	1.19 \pm 0.22	1.28 \pm 0.21	0.65 \pm 0.22	0.64 \pm 0.20	0.73 \pm 0.20	0.0812	
Ca/Mg	5.79 \pm 1.18	5.71 \pm 1.15	5.94 \pm 1.22	5.47 \pm 1.08	4.49 \pm 1.11	0.9011	2-5
Mg/K	4.75 \pm 3.07	5.45 \pm 2.99	3.77 \pm 3.18	1.67 \pm 2.80	11.72 \pm 2.88	0.1717	2.5-15
Ca+Mg/K	30.39 \pm 18.6	30.60 \pm 18.1	22.70 \pm 19.23	9.69 \pm 16.93	67.33 \pm 17.46	0.2222	10-40
Ca/K	25.66 \pm 15.7	25.17 \pm 15.3	18.95 \pm 16.22	7.97 \pm 14.28b	55.61 \pm 14.72	0.2413	5-25
Da (Kg/m ³)	656.08 \pm 47.8b	841.14 \pm 46.53	763.44 \pm 49.4a	799.05 \pm 43.5	479.51 \pm 44.9	<.0001	*600-1800

*: Ámbito común de Da, según Henríquez y Cabalceta (1999), sin embargo este depende del tipo de suelo

£ Fuente: Bertsch (1998)

Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos que presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), entre los sistemas evaluados fueron, UFC de hongos, porcentaje de materia orgánica (%MO), respiración microbiana, número de lombrices y biomasa de la hojarasca (Cuadro 4). Las mayores cantidades de UFC de hongos se presentaron en los sistemas orgánico, sostenible, convencional y bosque, y menor cantidad en el sistema pleno sol.

La mayor cantidad de MO, respiración microbiana y número de lombrices se encontró en el sistema bosque. La menor cantidad de MO se encontró en el sistema sostenible y el menor número de lombrices se encontró en el pleno sol. La respiración microbiana ocurrió en menor grado en los sistemas orgánico, sostenible y convencional, en donde los valores de respiración por día resultaron muy similares.

La mayor cantidad de hojarasca se encontró en el sistema orgánico y la menor cantidad en el sistema bosque, sin embargo, la cantidad de cobertura (hojarasca más crecimiento vegetal) fue mayor en el bosque.

Cuadro 4. Medias (\pm EE) y análisis de varianza de los indicadores biológicos de los suelos de los 5 sistemas evaluados en la zona de Turrialba y Orosi

Indicadores	Org	Sost	Conv	P.Sol	Bosques	Valor p ANOVA
Bacterias (log UFC/g ss)	4.78 \pm 0.53	4.09 \pm 0.52	4.87 \pm 0.55	4.21 \pm 0.48	5.43 \pm 0.50	0.4444
Hongos (log UFC/g ss)	3.96 \pm 0.26a	4.44 \pm 0.25a	3.94 \pm 0.26a	2.78 \pm 0.23b	3.83 \pm 0.24a	0.0013
MO (%)	9.09 \pm 0.78b	6.91 \pm 0.76c	8.93 \pm 0.80bc	9.02 \pm 0.71b	11.63 \pm 0.73a	0.0054
Resp (mg C-CO ₂ /g día)	0.2630 \pm 0.04 c	0.2995 \pm 0.04 c	0.3153 \pm 0.05 c	0.4450 \pm 0.04 b	0.6434 \pm 0.04 a	<.0001
Nº Lombrices/m ²	66.67 \pm 7.0ab	64.44 \pm 7.6bc	66.22 \pm 12.6b c	36.44 \pm 12.5c	88.33 \pm 2.5a	0.0063
Cobertura (g mat seca/m ²)	230.80 \pm 72.4 5	31.92 \pm 70.56	51.54 \pm 74.94	71.41 \pm 65.96	157.39 \pm 68.0 2	0.2485
Hojarasca (g mat seca/m ²)	1177.16 \pm 212.26a	577.29 \pm 206.74bc	689.58 \pm 219.55ab	447.46 \pm 193.24bc	84.09 \pm 199.30c	0.0148

Porcentaje de Materia Orgánica (%MO)

El sistema bosque presentó el mayor porcentaje de materia orgánica, 11.63% (Cuadro 4). Este alto contenido, posiblemente se deba al aporte de materia orgánica proveniente de las hojas, ramas y troncos caídos sobre el suelo, los cuales se han ido descomponiendo a través de los años, así mismo este alto contenido de materia orgánica se puede atribuir a la conservación de la misma en el sistema, debido a la escasa ó nula intervención del hombre. A esto se puede sumar una elevada actividad microbiana, reflejada en la más alta respiración microbiana encontrada entre todos los

sistemas evaluados, 0.6434 mg C-CO₂/g día y a un elevado número de lombrices encontradas (85.33 individuos/m²).

Las lombrices tienen la capacidad de acondicionar los restos vegetales y animales, para la posterior degradación y la consiguiente mineralización generada por los microorganismos edáficos (Pino, 2005), los cuales juegan un rol muy importante en la incorporación de los restos vegetales al suelo (Henríquez y Cabalceta, 1999). El sistema orgánico y el pleno sol, también presentaron porcentajes altos de materia orgánica, 9.09% y 9.02%, respectivamente. El alto % de MO en el sistema orgánico se puede atribuir a la aplicación de abonos orgánicos al suelo y a la gran cantidad de hojarasca presente, 1,177 gramos de materia seca/m².

Elevados porcentajes de MO en el sistema de manejo pleno sol, podrían estar relacionados con una acumulación de la misma, (aportada a través de las podas realizadas al cultivo de café), sin embargo las condiciones desfavorables de este sistema, combinadas con una respiración microbiana alta, pese a la baja presencia de poblaciones de lombrices y de UFC de hongos, hacen sospechar que los microorganismos están siendo afectados negativamente, y por tanto el proceso de descomposición de la materia orgánica en este sistema de manejo se torne lenta, provocando la acumulación de la misma.

Los porcentajes inferiores de MO se encontraron en los sistemas convencional y sostenible, sin embargo estos no se pueden considerar como bajos debido a que superaron el 2.1% de MO, considerado por Gil (2008), como el mínimo porcentaje de MO para una producción de café.

Lombrices de tierra

El bosque fue el sistema que presentó un mayor número de lombrices, (88.33 lombrices /m²) y el pleno sol el menor (36.44/m²). Los otros sistemas de manejo estudiados no presentaron diferencias significativas entre sí (Cuadro 4). Aunque el bosque fue el sistema que presentó la menor cantidad de hojarasca, el suelo de este por la densa vegetación existente permanece húmedo inclusive durante la época seca, esto se debe lógicamente al elevado porcentaje de sombra que proporciona dicha vegetación. Según Coyne (2002), las lombrices dependen en gran medida de la humedad presente en el suelo, esta puede ser una de las razones por las que se encontró un mayor número de lombrices en este sistema. Así mismo por ser el bosque un área no intervenida por el hombre, en donde no se realiza ningún tipo de mecanización agrícola y en donde no se aplican insumos, hace que estos suelos tengan condiciones más adecuadas para el desarrollo y la reproducción de las lombrices. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Cerda (2008), quien al comparar la calidad de suelos en diferentes sistemas productivos y barbechos, encontró un mayor número de lombrices en los barbechos, que en los sistemas de producción.

El pleno sol fue el sistema que presentó la menor cantidad de lombrices, esto se puede atribuir a que este sistema no cuenta con árboles de sombra, por lo que el suelo tiende a perder humedad con rapidez y a tener una temperatura más elevada, creando así un ambiente hostil para las lombrices. Esta situación no ocurre en los otros sistemas evaluados, pues si cuentan con sombra arbórea.

Los sistemas de manejo orgánico, sostenible y convencional, no muestran diferencias significativas entre sí, sin embargo el sistema de manejo orgánico presenta una cierta similitud con el sistema bosque, esto se puede atribuir al alto % de sombra que presenta este sistema de manejo (47%) (Cuadro 1), y también a la baja Da registrada en el sistema orgánico. Según Jiménez et al. (2003), los contenidos de materia orgánica, textura, profundidad, pH, precipitación, temperatura, residuos de cultivo, sistemas de labranza, predación y parasitismo determinan las poblaciones de lombrices dentro del perfil del suelo, así mismo estas son sensibles a la estructura del suelo, la compactación, la presencia de metales pesados y de residuos de pesticidas (Tabu et al. 2004). La similitud encontrada entre el sistema sostenible y el convencional, se puede atribuir a cantidades similares de hojarasca, cobertura vegetal y Da.

Respiración microbiana

La respiración microbiana más alta se registró en el sistema bosque, (0.6434 mg C-CO₂/g día) (Cuadro 4), esto es de esperarse debido a las condiciones naturales que presenta este sistema. El alto porcentaje de sombra proporcionado por la vegetación, ayuda a mantener el suelo húmedo y la no modificación de las condiciones naturales del bosque, al haber sufrido poca intervención humana, crean condiciones ideales para mantener un mayor número de macro y micro organismos, cuya respiración en conjunto con la respiración de las raíces y con los demás procesos productores de CO₂, pueden estar generando que el bosque presente la respiración microbiana más elevada. Una mayor respiración cuando las condiciones del sistema son ideales, como las de un bosque, indican una alta actividad microbiana. Según Acuña et al. (2006), la respiración se usa como indicador de la actividad microbiana y de la descomposición de sustratos específicos del suelo. Estos parámetros indican de manera fehaciente la mineralización que ocurre en el sustrato orgánico del suelo y son indicadores de la calidad de la materia orgánica y salud del suelo.

El pleno sol fue el sistema que registró la segunda mayor respiración microbiana, (0.4450 mg C-CO₂/g día), esto crea una contradicción con la cantidad de UFC de hongos encontradas, pues el pleno sol fue el sistema en el que se reportó la menor cantidad de hongos, sin embargo se sabe que el flujo de CO₂ teóricamente representa una medición integrada de la respiración de raíces, respiración de la fauna del suelo y la mineralización del carbono desde las diferentes fracciones de

la materia orgánica del suelo y del mantillo, (Acuña et al. 2006), por lo que no se puede analizar los valores de respiración solamente, por número de UFC de hongos encontradas. Sin embargo por las condiciones adversas de este sistema de manejo, por la poca cantidad de lombrices y de UFC de hongos encontradas y por presentar una elevada respiración, se puede inferir que existe un “estrés microbiano”. Según García et al (2003), la respiración microbiana es altamente sensible a variaciones de temperatura y humedad, efectos de humedecimiento–secado, la aplicación de agroquímicos o elementos metálicos, la exudación de sustancias supresoras y el manejo del medio, entre otros, por lo que se cree que alguno ó algunos de estos factores pudieron haber afectado el metabolismo fisiológico de la biota del suelo y generar un estrés microbiano. La respiración microbiana de los sistemas orgánico, sostenible y convencional, no presenta diferencias significativas entre sí.

UFC de hongos

Los recuentos de unidades formadoras de colonias (UFC), fueron transformadas a logaritmo natural, para después realizar el análisis de varianza. El sistema de manejo pleno sol fue el sistema que presentó la menor cantidad de UFC de hongos, (2.78 log UFC/g ss) (Cuadro 4), en los demás sistemas evaluados se hallaron cantidades semejantes, las cuales se encuentran dentro de un rango medio, 3-5 log UFC/g ss, según Uribe (2010). El hecho de que en el pleno sol se encontraran menos UFC de hongos se puede atribuir a la ausencia de árboles, la cual es indispensable para mantener la humedad en el suelo y para generar microambientes a nivel edáfico, aptos para la reproducción fúngica. Según Barea y Olivares (1998), la introducción de plantas en el sistema hace que la situación de los microbios cambie drásticamente ya que las plantas son las principales suministradoras de sustratos energéticos al suelo, de los que los microorganismos se aprovechan cuando se encuentran en la zona próxima a la raíz y proliferan en ella. Así mismo Acuña et al. (2006), asevera que la distribución de los hongos está determinada por la disponibilidad de carbono orgánico, debido a que los hongos del suelo son fundamentalmente organismos saprófitos que crecen en tejidos muertos y en descomposición, por lo que la composición de la vegetación también afecta la distribución de las especies de hongos, esto puede explicar por qué en los demás sistemas evaluados, los cuales contaban con sombra arbórea presentaron una mayor cantidad de UFC de hongos que el sistema de manejo pleno sol.

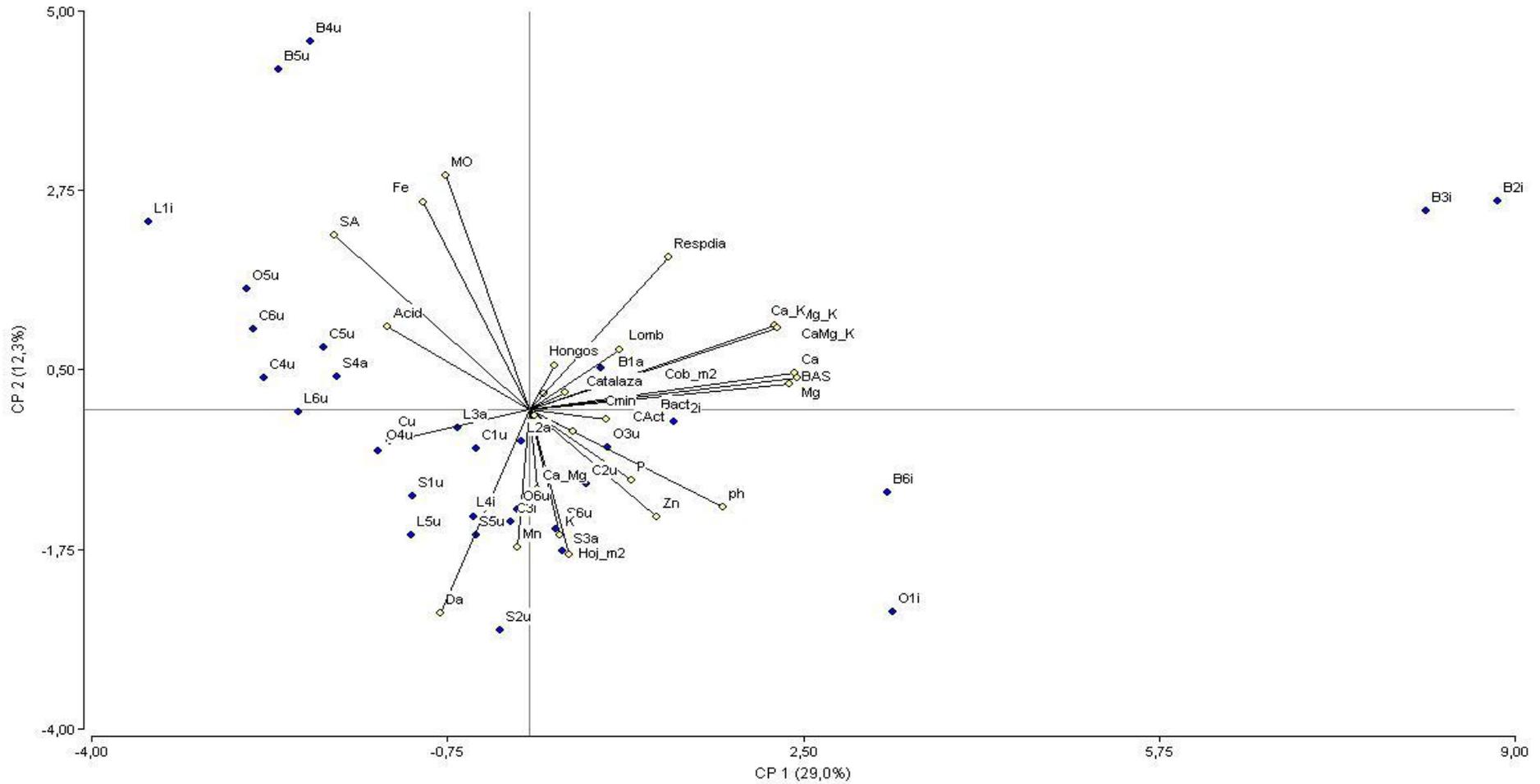
Análisis de componentes principales

Se realizó un análisis de componentes principales con el fin de detectar la existencia de relaciones entre los indicadores evaluados y el tipo de manejo. Dicho análisis se realizó con el indicador físico densidad aparente y con todos los indicadores químicos y biológicos, excepto con

la capacidad celulolítica de los hongos predominantes y la identificación de los mismos. La figura 2 muestra la ubicación de las parcelas en un plano cuyos ejes corresponden al componente principal 1 (CP1) y al componente principal 2 (CP2), los cuales explican el 41.3% de la variación total de las observaciones. El CP1 explica el 29% de la variabilidad y este constituye un contraste entre bases y acidez, de modo que las parcelas con altos contenidos de bases (B2i y B3i), están asociados con valores positivos del CP1, mientras que parcelas con altos contenidos de Fe y %MO (B4u y B5u) y de %SA y acidez (L1i, O5u, C4u, C5u, C6u y S4a), están asociados con valores medios y negativos de CP1.

Los altos contenidos de bases están asociados con parcelas cuyos suelos son de tipo inceptisol (B2i y B3i), en donde según ICAFE-CIA (2001), por la ubicación en la que se encuentran estos bosques (B), predominan los suelos Rendollic Eutrudepts, los cuales se caracterizan por ser suelos con altos contenidos de carbonatos y alta saturación de bases, lo cual explica la asociación entre B2i y B3i con altos contenidos de bases.

Los altos contenidos de %SA y acidez se relacionan en este estudio con suelo de tipo ultisol. Estos suelos se según Bertsch (1998), se caracterizan por presentar condiciones ideales para la lixiviación de bases, que conduce a acentuados problemas de acidez, lo cual explica la relación existente de las parcelas O5u, C4u, C5u, C6u y los altos %SA y acidez. Es evidente que el CP1 hace una clara separación entre los inceptisoles y los ultisoles.



B: bosque, O: orgánico, S: sostenible, C: convencional, L: pleno sol; 1,2,3,4,5,6: repeticiones de cada finca ó bosque; i: inceptisol, u: ultisol, a: andisol

Figura 1. Biplot de análisis de componentes principales de los 5 sistemas evaluados en la zona de Turrialba y Orosi

Selección de los indicadores de mayor peso para determinar calidad de suelo

Con base en el ANOVA realizado se seleccionaron 6 indicadores para calcular el índice de calidad de suelo aditivo (ICSA). Se seleccionaron solamente aquellos indicadores cuyo valor de p fuese menor a 0.05. Los indicadores seleccionados fueron los siguientes: UFC de hongos, %MO, respiración, número de lombrices, hojarasca y DA.

Índice de calidad de suelo aditivo (ICSA)

Se calculó el ICSA de dos formas: con todos los indicadores de calidad de suelo evaluados (27) y con los 6 Indicadores de Mayor Peso (IMP), seleccionados a través del ANOVA. En ambos casos el sistema bosque tuvo mayor ICSA que los otros sistemas ($p < 0.05$), los cuales no presentaron diferencias significativas entre si, tal como se observa en el cuadro 5.

Al presentar el bosque un mayor valor de ICSA, se considera que este sistema natural con escasa o nula intervención humana, tiene una mejor calidad de suelo y está funcionando de una manera más sostenible que el resto de los sistemas evaluados. Esto es un indicativo de que este sistema es útil para usarlo como patrón de comparación.

Los otros sistemas de producción de café al no presentar valores de ICSA significativamente distintos entre sí hacen suponer que los suelos de estos sistemas tienen una calidad de suelo semejante, sin embargo las diferencias significativas encontradas entre los sistemas de café estudiados observadas en el %MO, el número de lombrices, la respiración microbiana, las UFC de hongos, la biomasa de la hojarasca y la DA, indican que los suelos de estos sistemas tienen una calidad de suelo diferente y que por tanto el ICSA en este caso, no resulta ser un parámetro adecuado para calificar la calidad de los suelos estudiados. Se concluye que los sistemas de café orgánico, sostenible, convencional y pleno sol, tienen una calidad de suelo diferente, presentándose las mejores condiciones en el sistema orgánico y las condiciones más críticas en el pleno sol.

Cuadro 5. Índice de calidad de suelo (ICSA) para cada uno de los 5 sistemas evaluados en la zona de Turrialba y Orosi

ICSA	Org	Sost	Conv	P.Sol	Bosque	Valor p ANOVA
6 IMP	2.79a	2.57a	2.65a	2.49a	3.34b	0.0003
Total	9.36a	8.30a	8.36a	7.93a	12.14b	0.0028

Conclusiones

Se concluye que entre todos los sistemas evaluados el bosque presentó la mejor calidad de suelo y que entre los sistemas de manejo de café estudiados, las mejores condiciones las presenta el sistema orgánico y las condiciones más críticas el pleno sol.

Según los resultados de este estudio, los indicadores que marcaron diferencias sobre la calidad del suelo entre los sistemas evaluados fueron DA, UFC de hongos, %MO, respiración microbiana, número de lombrices y biomasa de la hojarasca. El Índice de calidad de suelo aditivo (ICSA), no resultó ser un parámetro útil para diferenciar la calidad de los suelos estudiados. Posiblemente los diferentes órdenes de suelo existentes dentro y entre los sistemas de manejo estudiados y sus distintas propiedades nutricionales, contribuyeron a que no se observaran diferencias estadísticas a nivel de fertilidad de suelo. A través del análisis de componentes principales se evidencia una mayor influencia del tipo de suelo sobre los indicadores evaluados, más que de los mismos sistemas de manejo estudiados.

Literatura consultada

Acuña, O; Peña, W; Serrano, E; Pocasangre, L; Rosales, F; Delgado, E; Trejos, J y Segura, A. 2006.

La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. Costa Rica. 12 p

Andrews, SS; Karlen, DL; Mitchell, JP. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, Ecosystems and Environment 90:25-45.

Barea, J.M; Olivares, J. 1998. Manejo de las propiedades biológicas del suelo. En: Jiménez Díaz, L.R. y R. Lamo de Espinosa (ed). Agricultura Sostenible. Editorial Mundi Prensa. Madrid, 173-193

Bertsch, F. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación costarricense de la ciencia y el suelo. San José. Costa Rica. 157 p.

Card, S. 2004. Evaluation of two field methods to estimate soil organic matter in Alberta soils. Alberta Agriculture, Food and Rural Development Conservation and Development Branch. 36 p.

Castro, F; Montes, E; Raine, M. 2004. Centroamérica la crisis cafetalera: efectos y estrategias para hacerle frente. San José, CR, Latin America and Caribbean Region Sustainable Development Working Paper 23. 128 p.

Cerda, R. 2008. Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el valle de Talamanca. Tesis Mag. Sc. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 56p.

- Coney, M. 2000. Microbiología de suelo: un enfoque exploratorio. Madrid, España. Editorial Paraninfo. 416 p.
- Domínguez, J; Aira, M; Gómez, M. 2009. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. España. Ecosistemas 18 (2): 20-31.
- García, C; Gil-Sotres, F; Hernández, T; Trasar-Cepeda, C. 2003. Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana. Mundi-Prensa Madrid. 371 p.
- George, A. 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 101 p.
- Gil, S. 2008. Importancia del análisis del suelo de su Cafetal. Conozca y ahorre dinero en la fertilización, analizando el suelo de su cafetal. (en línea). Santa tecla, El Salvador. PROCAFE. Consultado 16 ago. 2010. Disponible en <http://www.procafe.com.sv/menu/publicafe/SerieDCn1.htm>
- Giovannucci, D. 2001. Encuesta sobre café sustentable en el mercado de especialidad de América del Norte. Summit Foundation Nature Conservancy; Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte; Asociación Estadounidense del Café de Especialidad; Banco Mundial. 7 p.
- Henríquez, C; Cabalceta, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. Costa Rica. 112 p.
- ICAFE-CIA. 2001. Caracterización de suelos cafetaleros en la región de Turrialba. ICAFE-CIA. San José. Costa Rica. 49p.
- ICAFE 2010. Análisis químico y físico de suelo (entrevista). Heredia, CR, Instituto del café de Costa Rica.
- Jiménez, J.J; Decaëns, T; Thomas, R.J; Lavelle, P. 2003. La macrofauna del suelo: un recurso natural aprovechable pero poco conocido. In El arado natural: Las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas Neotropicales de Colombia. Ed. Jiménez, JJ; Thomas, RJ. CIAT. 444 p.
- Oxfam (Comité Oxford de ayuda contra el hambre). 2005. La crisis del café continua: evaluación de la situación y recomendaciones de políticas para reducir la pobreza en el sector cafetalero. EUA. 9 p.
- Pino, C. 2005. Estudio de sostenibilidad de sistemas vitícolas en transición agroecológica en la provincia de Cauquenes, Chile. Tesis Mag. Sc. Universidad Internacional de Andalucía Sede Antonio Machado, Baeza, España. 147 p.

- Porras, C.M. 2006. Efecto de los sistemas agroforestales de café orgánico y convencional sobre las características de suelos en el Corredor Biológico Turrialba–Jiménez, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba. Costa Rica.CATIE. 131 p.
- Tabu, I.M; Obura, R.K; Swift, M.J. 2004. Macrofaunal Abundance and diversity in selected farmer perceived soil fertility niches in Western Kenya. In Managing nutrient cycles to sustain soil fertility in Sub-Saharan Africa. Ed. Bationo, A. CIAT. 2004. 608 p.
- Trejo, M; Barrios, E; Turcios, W; Barreto, H. 1999. Método participativo para identificar y clasificar indicadores locales de calidad del suelo a nivel de microcuena. Guía 1. In Instrumentos metodológicos para la toma de decisiones en el manejo de los recursos naturales. 255 p.
- Uribe, L. 2010. Poblaciones microbianas de suelo (entrevista). San José, CR, Universidad de Costa Rica.
- USDA. 2004. What is soil quality? (en línea). Consultado 28 de febrero. 2009. Disponible en http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/index.html
- Veres, D. 2002. A comparative study between loss on ignition and total carbon analysis on minerogenic sediments. *Geologia*. 47(1): 171-182.
- Weaver, F; Angle, J; Bottomley, P. 1994. Part: Methods of soil analysis. Microbiological and biochemical properties. Number 5. US Soil Science Society of American Book Series 1121
- Weil, R; Islam, K; Stine, M; Gruver, J; Sampson-Liebeg, S. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment : A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture* 18 (1): 3-17.
- Zamora, L. 1998. Manual de recomendaciones para el cultivo del café. ICAFE-CICAFE. Heredia. Costa Rica 193p.