

# **Evaluación de la calidad biológica del suelo en un Sistema Agroforestal de especies maderables nativas (Pilón y Almendro) con *Heliconias* y un Bosque Secundario, en la zona de Limón. Costa Rica.**

*Méndez Cartín, A.<sup>1</sup>; Rodríguez Flores, R<sup>2</sup>; Valverde Morales C<sup>3</sup>*

## **RESUMEN**

Debido a que poco se conoce sobre la calidad biológica del suelo en los sistemas agroforestales de especies maderables nativas y flores tropicales como las heliconias, se consideró importante realizar el presente estudio, con el objetivo de evaluar la calidad biológica del suelo en un sistema agroforestal (SAF) con heliconias y compararlo con un bosque secundario (BS), con el fin de determinar el efecto del sistema agroforestal en el suelo. Este fue efectuado en la Finca Capinal S.A, ubicada en Guácimo de Limón, Costa Rica; donde se realizó un muestreo sistemático al azar, en ambos sitios (1.5 ha cada uno), de las propiedades químicas (micro y macro nutrientes y materia orgánica), físicas (textura, densidad aparente y porcentaje de porosidad), biológicas (biomasa y número de lombrices) y bioquímicas (biomasa microbiana) del suelo. Para el análisis de los datos se realizó un Análisis de Comparación Estadística de Muestras Múltiples y ANOVA, mediante la utilización del programa StatGraphics. La cantidad de MO encontrada en los suelos de la Finca Capinal (6,43% para el BS y 5,76% SAF), se encuentra dentro del rango normal para suelos Inceptisoles de la zona (5,0-7,4%), con niveles más altos en el BS. Con respecto a la densidad

---

<sup>1</sup> Univesidad Nacional de Costa Rica, [aisul\\_ana@hotmail.com](mailto:aisul_ana@hotmail.com)

<sup>2</sup> Univesidad Nacional de Costa Rica, [ruthecolog@gmail.com](mailto:ruthecolog@gmail.com)

<sup>3</sup> Univesidad Nacional de Costa Rica, [ginette.valverde@gmail.com](mailto:ginette.valverde@gmail.com)

de lombrices, no se presentaron diferencias significativas; sin embargo, el BS reflejo una mayor población (28,9% más), lo que tiene relación con un mayor cantidad de MO. La actividad microbiana fue mayor en el BS (5,18 % superior al SAF) y mantiene una correlación positiva con el contenido de MO y la densidad de lombrices. Considerando lo anterior y la falta de significancia estadística entre sistemas (BS y SAF), se concluye que ambos sitios presentan calidades biológicas del suelo similares.

## **INTRODUCCIÓN**

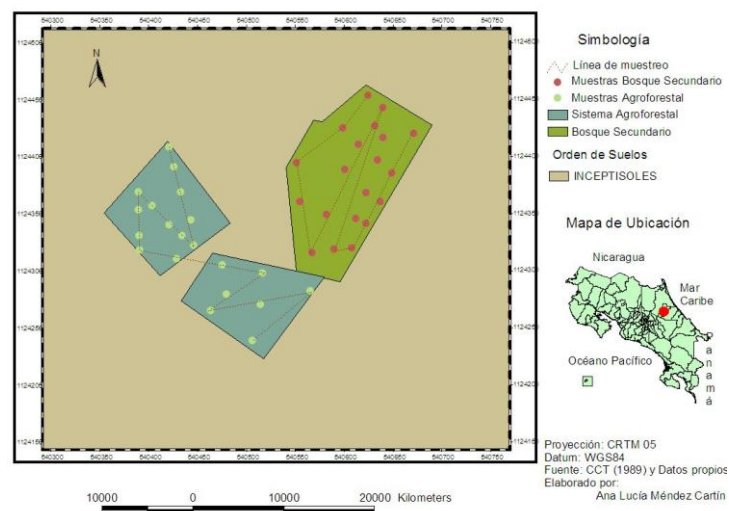
Los sistemas agroforestales (SAF) son bien conocidos como una alternativa de producción que promueve el equilibrio en los agro-ecosistemas al aumentar la biodiversidad, mejorar los flujos de energía e incrementar las interacciones ecológicas entre el componente arbóreo y el no arbóreo del sistema (Young 1991). Además, incorporan nutrientes mediante la descomposición de materiales orgánicos, mejorando el reciclaje y por ende la productividad, sin necesidad de aplicación de cantidades importantes de agroquímicos (Ochoa, *et al* 2007; Gelvez, 2008; Altieri, 2004). Los SAF que incorporan especies de flores tropicales como las del género *Heliconia*, constituyen una opción importante de ingresos adicionales al productor, ya que esta especie es una flor muy popular en los jardines tropicales con un potencial relevante como flor de exportación (Díaz 2006 y Díaz-Granados 2008). En consideración a que la mayoría de las especies comerciales de heliconias requieren de sombra para su desarrollo, es un cultivo que estimula al establecimiento de sistema asociados de producción agroforestal. El suelo cumple un papel fundamental en el equilibrio de los agro-ecosistemas, por lo que su protección y uso adecuado es de gran relevancia;

para ello es necesario implementar sistemas de producción más sostenibles y realizar estudios de la condición de los mismos en el tiempo, tal como es el caso de los SAF. La medida de la calidad del suelo se fundamenta en criterios que engloban diversos factores, debido a que el suelo es un ente dinámico con múltiples procesos físicos, químicos y biológicos que cambian en el espacio y el tiempo (Ochoa, *et al* 2007). Tradicionalmente, con este fin, se han utilizado en su gran mayoría parámetros físico-químicos como principales indicadores de la calidad del suelo, pero al ser más estables, estos sólo muestran sensibilidad a los cambios en el mediano y largo plazo. Debido a ello, recientemente se ha dado mayor importancia a los parámetros biológicos y bioquímicos, que han surgido como una alternativa en este campo, debido a que son más sensibles a los cambios en el corto plazo, y sobre todo, por su carácter integrador (Puglisi *et al.* 2006 citado por Toresani 2009 y Alkorta *et al.* 2003 citado por Garbisu 2007). Sin embargo, poco se conoce sobre la calidad biológica del suelo en los SAF, de especies maderables nativas y heliconias, es por ello que el objetivo del presente trabajo es el evaluar la calidad biológica del suelo en un sistema agroforestal (SAF) con heliconias y compararlo con un bosque secundario (BS), con el fin de determinar el efecto del sistema agroforestal en el suelo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

**Descripción del área de estudio:** La investigación se realizó en la finca Capinal S.A, ubicada en Guácimo de Limón (10°9'42".83 N y 83°38'5".63 O) por un período de 6 meses. La finca presenta una topografía plana, posee suelos inceptisoles y un sistema de manejo sin agroquímicos. La precipitación promedio

anual aproximada de la zona es de 3800 mm, y las temperaturas máximas y mínimas son de 31 y 21°C. Para el presente estudio se seleccionaron dos áreas dentro de la finca (1,5 ha cada una), de acuerdo al tipo de uso del suelo, una zona de sistema agroforestal (SAF) de especies maderables nativas de pilón (*Hyeronima alchorneoides*) y almendro (*Dipteryx panamensis*) con flores de montaña (*Heliconia caribea*); y un área de Bosque Secundario (BS) dominada por la especie arbórea gavilán (*Pentaclethra macroloba*) (Figura 1).



**Figura 1.** Localización geográfica del área de estudio, distribución de las áreas dentro de la finca y detalle de los puntos de muestreo.

**Muestreo y análisis de suelos:** El muestreo de suelos se realizó en cada una de las áreas delimitadas de forma sistemática al azar (Figura 1). Se evaluaron parámetros químicos (pH, MO, macro y micronutrientes), físicos (Textura, Da, % P) y biológicos/bioquímicos del suelo (densidad de lombrices y biomasa microbiana). Para la evaluación química del suelo se tomaron muestras a dos profundidades (0-20 cm, 0-40 cm). El pH en H<sub>2</sub>O, se midió en relación 1:2,5 (suelo:agua), y la acidez intercambiable en KCl 1N se determinó según

metodología SoilSurveyStaff (2006). La materia orgánica (MO) se estimó por el método de Walkey y Black, descrito por Nelson y Sommers (1982) y para los macro y micronutrientes la metodología de Olsen Modificado. Para las propiedades físicas: densidad aparente (Da) y porcentaje de poros (%P), se tomaron 8 muestras por sistema de manejo a los 0-7,5 cm de profundidad, y a los 20-27,5 cm. El %P y la Da, se obtienen mediante la metodología de Henríquez y Cabalceta (1999) y el método del volumen conocido de Forsythe (1985). Por último, para determinar la actividad microbiana se realizó un muestreo a 10 cm de profundidad, y para las lombrices a 20 cm de profundidad, con un total de 10 muestras para cada parámetro. Las muestras de biomasa microbiana fueron trasladadas al laboratorio de Suelos en donde se procedió a realizar el análisis según la metodología de Abeal 2000, donde se utilizó un tamiz de 4 mm y se incubó las muestras por 7 días, titulando para la determinación del carbono en los días 1,4 y 7. La cantidad de lombrices se determinó mediante el método descrito por Fraile (1989). Para el análisis de los datos se realizó un Análisis de Comparación Estadística de Muestras Múltiples y ANOVA, mediante la utilización del programa StatGraphics.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Propiedades Químicas:** No se presentaron diferencias significativas para la mayoría de las variables evaluadas, entre los dos sistemas de manejo (AF y BS). Los suelos presentan pH inferiores a 5 para ambos sitios, una alta acidez y niveles bajos de las bases Ca y K, y de las relaciones entre Ca/K y Mg/K (Cuadro 1). El SAF presenta valores más altos en el contenido de bases, que el BS, y

este contenido disminuye con la profundidad. El SAF recibe la aplicación de abonos orgánicos que aportan cantidades adicionales de bases al suelo.

**Cuadro 1.** Relación entre las bases, CICE, MO y Acidez y sus respectivos niveles medios, Finca Capinal, Guácimo, Limón, 2011.

| <b>Muestra</b>                       | <b>Acidez</b>  | <b>Ca</b>     | <b>Mg</b>      | <b>K</b>       | <b>% MO</b> | <b>CICE</b>   |
|--------------------------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|-------------|---------------|
| <b>Bosque Sec. 20 cm</b>             | 2,25           | 1,35          | 0,60           | 0,48           | 6,43        | 4,68          |
| <b>Bosque Sec. 40 cm</b>             | 2,00           | 1,00          | 0,60           | 0,42           | 4,82        | 4,02          |
| <b>Agroforestal con flores 20 cm</b> | 1,40           | 1,64          | 0,80           | 0,39           | 5,76        | 4,23          |
| <b>Agroforestal con flores 40 cm</b> | 1,45           | 1,25          | 0,60           | 0,43           | 4,49        | 3,73          |
| <b>Nivel Medio</b>                   | <b>0,5-1,5</b> | <b>4,0-20</b> | <b>1,0-5,0</b> | <b>0,2-0,6</b> |             | <b>5,0-25</b> |

Los contenidos de micronutrientes (Cu, Zn, Mn y Fe) se encuentran en niveles medios, a excepción del Fe, el cual se halla por encima de las concentraciones medias (11-100 µg/ml). Cabe mencionar, que estos elementos en altas concentraciones genera problemas de toxicidad en el suelo, si el pH es inferior a 5.0, puede presentarse toxicidad por Al, Fe y/o Mn (Valencia G. s.f.), lo que en el presente estudio se manifestó en las plantas de heliconias, con muerte del sistema radicular y en algunos casos la muerte de la planta. Asimismo, el bosque presenta un 9,6%-7,21% más de CICE y un 37,7%-34,09% más de acidez, que el sistema agroforestal, a los 20 y 40 cm respectivamente. Una razón del porqué la acidez puede ser mayor en el bosque secundario es la fertilización con abono orgánico del sistema agroforestal.

De acuerdo a la investigación establecida por Briceño y Gadea (2002), donde se estudió el porcentaje de MO para los distintos órdenes de suelos de Costa Rica (0-20 cm de profundidad), se puede afirmar que la cantidad de MO encontrada en los suelos de la Finca Capinal (6,43% para el BS y 5,76% SAF), se encuentra dentro del rango normal para suelos Inceptisoles de la zona (5,0-7,4). En este caso, el sitio con mayor cantidad de MO es el bosque secundario, con 0,67%

más que el sistema agroforestal en los primeros 20 cm y 0,33% más a los 40 cm, ya que al existir una mayor cantidad de estratos en este sistema, se aporta mayor cantidad de MO al suelo.

Asimismo, en cuanto a la naturaleza coloidal de la materia orgánica, se dice que ésta le permite tener una importante capacidad amortiguadora al suelo, debido a su gran capacidad de intercambio catiónico, incrementando la disponibilidad de micro y macro-nutrientes a través del acomplejamiento y mantenimiento de cantidades sustanciales de nitrógeno, fósforo y azufre en sus formas orgánicas (Briceño y Gadea 2002). Lo anterior, se refleja en este trabajo, pues se identifica que a mayor cantidad de materia orgánica se incrementan los macro-elementos (N y P), con excepción del N a los 40cm, donde se presenta un 50% más en el agroforestal que en el bosque (sistema que posee más MO). Esto se puede relacionar al aporte de N por la relación simbiótica entre el almendro de montaña (familia de las leguminosas) y el *Rhizobium*, mediante la cual se fija nitrógeno al suelo.

**Propiedades físicas:** Los suelos presentaron una textura arcillosa, donde, solo el sistema agroforestal (0-20 cm) posee una textura arcillo-arenosa. Cabe mencionar, que aunque la arcilla predomina en estos suelos (entre 40,4% y 51%), la arena es un elemento de gran importancia, ya que se mantiene a niveles elevados (30,4% a 47,6 %), afectando así a los indicadores físicos del suelo.

**Cuadro 2.** Relación entre los componentes de Textura y Porosidad del suelo en la Finca Capinal, Guácimo,2011.

|                                | <b>Textura</b>  | <b>% Porosidad</b> |
|--------------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>Bosque Secundario</b>       | Arcilla         | 72,92              |
| <b>Agroforestal con flores</b> | Arcillo-arenoso | 71,83              |

Según Henríquez y Cabalceta (1999), en suelos de texturas finas, la porosidad se encuentra entre el 40-60% para el primer horizonte, sin embargo, en estos suelos sobrepasan estos valores lo que se puede deber a la gran cantidad de raíces que se ubican en los primeros 20 cm del suelo. No obstante, estos resultados no se consideran estadísticamente significativos, cuando se comparan ambos bloques ( $P=0,5326$  %Poros).

La densidad aparente (0,68/ha bosque y 0,7/ha agroforestal), siendo 15% menor en el bosque secundario que en el sistema agroforestal, lo que se puede deber a la mayor cantidad de MO. Estos suelos se encuentran dentro del rango normal tanto para la primera profundidad (20 cm) como para la segunda (40 cm), ya que según lo expuesto por Alvarado y Forsythe (2005), en su estudio sobre la variación de la Da en los diferentes órdenes de suelos de Costa Rica, en el orden Inceptisol el promedio es de 1,21 g/cm<sup>3</sup> con un valor mínimo de 0.67 g/cm<sup>3</sup> y un máximo de 1,71 g/cm<sup>3</sup>. Una mayor heterogeneidad de este parámetro en el SAF, se puede deber a que existen zonas más transitadas, lo que ocasiona que en algunos sitios exista una mayor compactación. Sin embargo, según el análisis estadístico realizado para esta variable, se considera que estas diferencias no son consideradas estadísticamente significativas, tanto entre sistemas de manejo, como entre las profundidades ( $P=0,5563$ ).

**Propiedades biológicas:** Con respecto a la densidad de lombrices, no se presentaron diferencias significativas ( $P=0,2328$ ); sin embargo, el BS reflejó una mayor población (28,9% más) que el sistema agroforestal; lo que tiene relación



con una mayor cantidad de MO, que según Fraile (1989), es su principal fuente de alimento y por ende el principal factor limitante. En el caso del mayor peso y cantidad de lombrices en el bosque en comparación con el agroforestal se puede deber a una mejor calidad del mantillo, ya que según el mismo autor, la composición de este es el primer factor que determina la abundancia y biomasa de las lombrices de tierra. Por consiguiente, una mayor variabilidad de la MO puede ocasionar que estas se desarrollen más, aumentando su tamaño y población, lo que demuestra la diferencia en el promedio del peso de las lombrices por metro cuadrado, entre ambos sistemas (11,2 g/m<sup>2</sup> BS y 7,96 g/m<sup>2</sup> SAF).

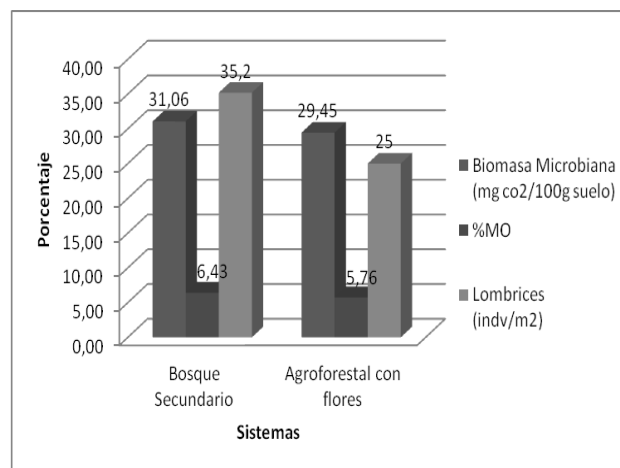
Asimismo, la densidad se ve restringida por la textura y el pH, ya que solamente se registraron 35 indv/ha en bosque y 25 indv/ha en el SAF; lo que comparado con lo encontrado por George (2006), en sistemas de Bosque (141 indv/ha) es muy bajo. Las lombrices son muy sensibles a la concentración de iones de hidrógeno, así que el pH del suelo puede limitar su distribución; por lo tanto se considera que a pH menores de 4 estas son escasas, y ausentes cuando se reduce a menos de 3,5. Lo anterior, explica el porqué de la baja cantidad de estas lombrices en la finca en comparación con otros estudios (George, 2006).

**Cuadro 3.** Efecto de las lombrices sobre las propiedades físicas del suelo en la finca Capinal, Guácimo, Limón, 2011.

|                   | Textura | % Porosidad | Da (g/cm <sup>3</sup> ) | Lombrices (indv/m <sup>2</sup> ) | Peso (g) Lombrices |
|-------------------|---------|-------------|-------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Bosque Secundario | Arcilla | 72,92       | 0,680                   | 35,2                             | 11,20              |

|                         |                 |       |       |    |      |
|-------------------------|-----------------|-------|-------|----|------|
| Agroforestal con flores | Arcillo-arenoso | 71,83 | 0,707 | 25 | 7,96 |
|-------------------------|-----------------|-------|-------|----|------|

Esto se encuentra relacionado con el efecto que estas tienen sobre las propiedades físicas del suelo, donde, en el caso de la Da., al ser una función de masa y volumen, un suelo con alta cantidad de MO y humedad adecuada, en conjunto con buena cantidad de lombrices puede conducir a una baja Da (George 2006). Esto se observa en el cuadro 3, donde en el bosque secundario, al existir no solo una mayor cantidad de MO, sino un 28,9% más de lombrices, se puede ocasionar una reducción de la Da, en un 3,8% y un aumento en la cantidad de poros (1,49% más que el sistema agroforestal). Lo anterior, refleja lo estipulado por Fraile (1989), donde explica que el diámetro de las lombrices (congruente con su peso) afecta el diámetro de las galerías, creando poros más grandes y mejorando así la estructura del suelo.



**Figura 3.** Efecto de la MO y cantidad de lombrices por m<sup>2</sup> sobre la biomasa microbiana encontrada en la finca Capinal, Guácimo, Limón, 2011.

De la misma manera, la MO afecta la cantidad de biomasa microbiana (BM) de un sitio, pues según Neindam y Winding (2002), esta mantiene una correlación positiva con la cantidad de MO encontrada en el suelo. Lo anterior, se muestra

en el gráfico 7, ya que la actividad microbiana es mayor en el BS (5,18 % superior al SAF) y mantiene una correlación positiva con el contenido de MO, lo que en parte se debe a que este sistema se encuentra menos disturbado que el Agroforestal. Sin embargo, estas diferencias no son consideradas estadísticamente significativas ( $P=0,9771$ ).

Al compararse con otros estudios, se considera baja, ya que se encuentra en un 95% por debajo de los SAF en Talamanca (Cerdeira, R 2008). Los resultados también indican que la densidad de lombrices mantiene una relación directamente proporcional con la cantidad de biomasa microbiana del suelo. Esto se observa claramente en la Figura 3. Aunque estas diferencias no son consideradas estadísticamente significativas ( $P=0,9771$ ), lo que nos muestra que ambos sistemas poseen una actividad biológica similar.

## **CONCLUSIONES**

Considerando lo anterior y la falta de significancia estadística entre sistemas (BS y SAF), se concluye que ambos sitios presentan calidades biológicas del suelo similares.

El principal problema de la finca es el bajo pH, lo que afecta directa o indirectamente a la alta acidez, la disminución de bases y la toxicidad de Fe; por lo que, se recomienda encalar y efectuar drenajes en el SAF, para reducir y controlar estos inconvenientes.

Existe una relación directamente proporcional entre las variables biomasa microbiana, cantidad de MO y densidad de lombrices presentes en el sitio, donde a pesar de no existir diferencias estadísticamente significativas ( $P=0,9771$ ), existe un 5,18% más de BM en el bosque secundario que en el agroforestal con flores.

## LITERATURA CITADA

- Abeal, D. 2000. Influencia de la Contaminación con Plomo sobre las Propiedades Bioquímicas del Suelo. Tesis Lic. ES. Universidad de Santiago de Compostela. 55p.
- Altieri, M; Nicholls C. 2004. An agroecological basis for designing diversified cropping systems in the tropics (en línea). New Dimensions in Agroecology. Consultado 8 setiembre 2011. Disponible en: <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/09/Agroecological-basis-for-Designing-Diversified-Cropping-Systems-in-the-Tropics.pdf>.
- Alvarado, A; Forsythe, W. 2005. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. Agronomía Costarricense. 29(1):85-94. Costa Rica.
- Briceño, J; Gadea, A. 2002. Materia Orgánica y adición de residuos al suelo. Materia orgánica: características y uso de insumos orgánicos en los suelos de Costa Rica. 19-24 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, CR. Tesis de M.Sc. CATIE. Turrialba, CR. 56p.
- Díaz, J. 2006. Diagnóstico de la cadena productiva de heliconias y follajes en los departamentos del eje cafetero y Valle del Cauca (Colombia). Bogotá, CO. ONU. 46 p.
- Díaz-Granados, J. 2008. Entorno Competitivo De Gestión Logística De Flores Exóticas En Santa Marta. Universidad Sergio Arboleda. Escuela de Negocios y Ciencias Empresariales. 58p. Santa Marta, Colombia.
- Forsythe W. 1975. Manual de Laboratorio: Física de Suelos. San José. CR. Editorial IICA. 217p.
- Fraile, M. 1989. Poblaciones de lombrices de tierra (*Oligocha etaannelidae*) en una pastura de *Cynodonplecto stachyus* (pasto estrella) asociada con árboles de *Cordia alliodora* (laurel), una pastura sin árboles y vegetación a libre crecimiento, en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR. CATIE. 236p.
- Garbisu, C, et al. 2007. Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador (en línea). Ecosistemas. 16(2): 1-6. Consultado 21 setiembre 2011. Disponible en: <http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=54016205>.

- Gelvez, I. 2008. Efecto del uso del suelo sobre la descomposición de la hojarasca y grupos funcionales microbianos (Cuenca del Río La Vieja, Quindío). Trabajo de Grado. Bogotá, CO: Pontificia Universidad Javeriana. Escuela de Microbiología Agrícola y Veterinaria. 79p.
- George, A. 2006. Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional en Turrialba, Costa Rica. Tesis M.Sc. Turrialba, CR. CATIE. 118p.
- Henriquez C, Cabalceta G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. Heredia, CR. EUNA.
- Neiendam, M; Winding, A. 2002. Microorganism as indicators of soil health. National environmental Research Institute. Ministry of the Environment. 82p. (NERI Technical Report No. 388).
- Ochoa, V et al. 2007. Actividades enzimáticas como indicadores de la calidad del suelo en agro-ecosistemas ecológicos (en línea). Revista electrónica de la Universidad de Jaén. Inilnv, 2:rl (1-10). Consultado el 26 mar. 2011. Disponible en:  
<http://www.revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/inilnv/article/download/251/233>.
- Toresani, S. 2009. Parámetros edáficos como indicadores de calidad de suelo en diferentes sistemas de manejo (en línea). Soja: para mejorar la producción. 42: 83-89. Consultado 21 setiembre 2011. Disponible en:  
[http://www.inta.gov.ar/oliveros/info/revistas/Soja%202009/13\\_parametros\\_edaficos.pdf](http://www.inta.gov.ar/oliveros/info/revistas/Soja%202009/13_parametros_edaficos.pdf).
- Valencia, G. S.f. Fisiología, Nutrición y Fertilización Del Cafeto. (en línea). Consultado 22 setiembre 2011. Disponible en:  
[http://www.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/abde7353d28f849705256fff006c0726/\\$FILE/Fisiolog%C3%ADa,%20nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20del%20cafeto.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/abde7353d28f849705256fff006c0726/$FILE/Fisiolog%C3%ADa,%20nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20del%20cafeto.pdf)
- Young, A. 1991. ProductivityAspects of AgroforestryScience and Practice of Agroferestry. Nairobi, KE. ICREF. 94 p.