



## Calidad del suelo y diversidad de macrofauna en cacaotales y fragmentos de bosque en Waslala, RAAN, Nicaragua (Mayo - Diciembre, 2010)

Orozco Luis<sup>1\*</sup>; Chavarría Daniel<sup>2</sup>; Tórrez Merling<sup>2</sup>; Rousseau Guillaume<sup>3</sup>; Chavarría Francisco<sup>4</sup>; López Arlene<sup>5</sup> y Vásquez Fabio<sup>6</sup>

<sup>1</sup>University of Melbourne  
Burnley Campus

Richmond, Vic, Australia  
e-mail: [lorozco@student.unimelb.edu.au](mailto:lorozco@student.unimelb.edu.au)

<sup>2</sup>UNAN-Matagalpa, Nicaragua  
e-mail: [chavarriasaenz@hotmail.com](mailto:chavarriasaenz@hotmail.com)  
e-mail: [lisbethtorrez@yahoo.com](mailto:lisbethtorrez@yahoo.com)

<sup>3</sup>Universidade do Estado de Maranhão, Brasil (UEMA)  
e-mail: [guilirous@yahoo.ca](mailto:guilirous@yahoo.ca)

<sup>4</sup>UNAN-Matagalpa, Nicaragua

<sup>5</sup>James Cook University  
Cairns Campus, Queensland, Australia  
e-mail: [arlene.lopezsampon@my.jcu.edu.au](mailto:arlene.lopezsampon@my.jcu.edu.au)  
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León (UNAN-León)  
e-mail: [facevalo@gmail.com](mailto:facevalo@gmail.com)

Recibido: 16/05/16

Aceptado: 15/08/16

### RESUMEN

Se evaluaron las propiedades físicas, químicas y la diversidad de macro-fauna del suelo en 36 cacaotales y 4 fragmentos de bosque en el municipio de Waslala, RAAN, Nicaragua. Al centro de cada cacaotal se estableció una parcela temporal de medición de 1000 m<sup>2</sup> (20 x 50 m). Se tomaron cinco muestras de suelo a dos profundidades (0-10 cm, 10-20 cm) y se analizaron las propiedades físicas y químicas de cada una. La macrofauna del suelo se recolectó en tres puntos de la parcela tanto en la hojarasca como en el suelo. En cada punto se extrajo un monolito (25x25x25 cm) y se cuantificaron e identificaron todos los organismos con tamaño menor a 2 mm de diámetro hasta el nivel de taxonómico de orden. Con base en indicadores físico-químicos se conformaron 4 grupos de calidad de suelo: el grupo +Base se clasificó como "Muy Bueno", los grupos ±bases y C se consideran "Buenos" y el grupo -Base "Regular". Todos los macro y micro elementos del suelo se encontraron alejados de los rangos críticos para el cultivo. Se identificaron 24 grupos funcionales de macrofauna siendo los más abundantes Formicidae (36%) y Oligochaetae (26%). La mayor densidad de macrofauna se encontró en el grupo de calidad ± base (1174.8 individuos m<sup>-2</sup>) y la menor densidad se registró en el grupo de calidad C (929.3 individuos m<sup>-2</sup>). Se sugiere estudiar el balance de nutrientes de los SAF-cacao de Waslala para determinar si la fertilidad actual del suelo garantiza la producción sostenible de cacao en el mediano plazo. Se recomienda incrementar los contenidos de Fósforo (P) en el suelo, mediante la aplicación combinada y escalonada de enmiendas orgánicas y/o sintéticas.

Palabras claves: salud de suelos, índices de diversidad, fertilidad, sistemas agroforestales

### ABSTRACT

The physical, chemical and macro-fauna diversity of the soil were evaluated in 36 cocoa and 4 forest fragments in Waslala municipality, RAAN, Nicaragua. At the center of each cacaotal was established a temporary plot measuring 1000 m<sup>2</sup> (20 x 50 m). Five soil samples were taken at two depths (0-10 cm, 10-20 cm) and the physical and chemical properties of each were analyzed. The macrofauna of the soil was collected at three points on the plot in both leaf litter and soil. At each point, a monolith (25x25x25 cm) was extracted and all organisms with a size smaller than 2 mm in diameter were identified and quantified until the level of taxonomic order. Based on physical and chemical indicators, 4 soil quality groups were formed: the + Base group was classified as "Very Good", the groups ± bases and C were considered "Good" and the group "Regular". All macro and micro soil elements were found to be far from the critical ranges for cultivation. Twenty-four macrofauna functional groups were identified, with Formicidae (36%) and Oligochaetae (26%) being the most abundant. The highest macrofauna density was found in the quality ± base group (1174.8 individuals m<sup>-2</sup>) and the lowest density was recorded in the quality C group (929.3 m<sup>-2</sup> individuals). It is suggested to study the nutrient balance of Waslala SAF-cacao to determine if current soil fertility guarantees sustainable cocoa production in the medium term. It is recommended to increase the content of Phosphorus (P) in the soil by the combined and phased application of organic and / or synthetic amendments.

Keywords: Soil health, diversity indexes, fertility, agroforestry systems



## INTRODUCCIÓN

El recurso suelo es fundamental para la sostenibilidad de los agroecosistemas porque cumple tres funciones esenciales: 1) actúa como medio para el crecimiento de plantas y desarrollo de la actividad biológica, 2) regula la reserva y flujo de agua, y 3) degrada compuestos contaminantes para el ambiente (Larson y Pearce, 1994). La calidad de suelos se define como la capacidad del suelo para funcionar en un ecosistema, para mantener y mejorar la productividad biológica, la calidad ambiental y la salud de plantas y animales (Doran y Parkin 1994, Doran et al. 1996).

La intensificación de los sistemas de producción deteriora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, reduciendo la productividad de los sistemas agropecuarios (Bonilla *et al.* 2008, Lavelle, 2000). Los invertebrados terrestres juegan un papel importante en la sostenibilidad de los agroecosistemas, no sólo como plagas o vectores de patógenos, sino también como benefactores por su capacidad de alterar el ambiente superficial y edáfico en el cual se desarrollan las plantas (Lavelle *et al.* 1994). Los organismos del suelo tienen un rol clave en el ciclaje de nutrientes, la solubilización de elementos y la degradación de materia orgánica. Finalmente, la actividad de los organismos puede reflejarse en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo (Rosales, *et al.* 2008).

El análisis de la calidad de suelos permite detectar cambios en el suelo, especialmente en la parte biológica, provee los aspectos básicos para evaluar la sostenibilidad del manejo del sistema. La calidad del suelo es el indicador primario del manejo sostenible de suelos y se considera un componente crítico de la agricultura sostenible (Doran y Parkin 1994, Larson y Pearce 1994, Karlen et al. 1997, Herrick 2000). Los cafetales y cacaoales con sombra ofrecen una alternativa para la conservación de la biodiversidad ya que por su alta diversidad vegetal y estructura compleja ofrecen gran variedad de hábitat y amortiguan y sirven de corredores para la fauna en los paisajes fragmentados (Suatunce *et al.* 2004).

Los análisis de los suelos cacaoteros de Centroamérica confirman que los cacaoales con sombra (maderables, frutales, palmas, bananos) tienen buena materia orgánica, buena estructura y bastante vida en el suelo. Sin embargo, en general, hay problemas de acidez y bajo contenido de algunos nutrientes (CATIE, 2013). A la fecha no se cuenta con estudios detallados sobre indicadores químicos, físicos y biológicos (como indicadores indirectos de la salud y/o calidad del suelo) de los suelos cacaoteros de Nicaragua. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de suelo e identificar la riqueza y abundancia de los invertebrados en los suelos sistemas agroforestales con cacao y fragmentos de bosque en el municipio de Waslala, RAAN, Nicaragua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Waslala situado en el extremo sureste de la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN) Nicaragua, entre las coordenadas 13°20' de latitud Norte y 85°22' de longitud Oeste (Figura 1). Waslala tiene una extensión territorial de 1,329.51 km<sup>2</sup> y está situada a una altitud promedio es de 420 m, con colinas que ascienden a los 1200 m. La precipitación media es 2700 mm anuales, los meses más lluviosos son junio-octubre y la temperatura anual varía entre 22-32 °C. El clima predominante es de selva húmeda tropical con una humedad relativa de 84%. La topografía es de ondulada a quebrada con pendientes promedio del 32%; suelos de fertilidad media en las partes más planas y pobres en las partes más altas, se reportan suelos ferralíticos con un alto contenido de arcilla. La alta precipitación favorece la erosión hídrica de los suelos; debido a la acumulación de los óxidos de hierro y aluminio los terrenos son pobres en nutrientes y con un pH bajo (Philipp, *et al.* 2003).

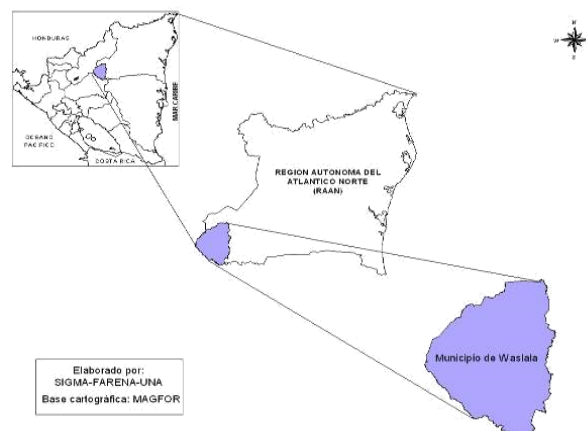


Figura 1. Localización del sitio de estudio en el municipio de Waslala, RAAN, Nicaragua.

### Selección de los sitios y parcela de medición

La investigación se realizó en 40 parcelas (36 sistemas agroforestales con cacao-SAF-Cacao- y 4 fragmentos de bosque-FB) distribuidas en 15 comunidades del municipio de Waslala. Las fincas fueron seleccionadas de la base de datos socios de la Cooperativa CACAONICA aplicando los siguientes criterios: 1) SAF-cacao con tamaño mayor a 1 ha, 2) dos rangos altitudinales (bajo  $\leq 281$  m y alto  $\geq 349$  m), 3) diversidad de usos colindantes al cacaotal, 4) variedad de prácticas de manejo, facilidad de acceso a la finca y 5) disposición del productor de colaborar con el estudio. Los FB a seleccionar debían ser mayor a 5 ha con el fin de eliminar el efecto de borde (100 m entre la orilla del bosque y la parcela experimental). Al centro de cada SAF-Cacao y FB se estableció una parcela de muestreo de 1000 (50 m x 20 m)<sup>2</sup>, subdividida en 10 cuadrantes o celdas de 10 m x 10 m (100 m<sup>2</sup>), cada celda fue codificada para identificar los diferentes puntos de muestreo. La parcela se orientó de acuerdo a la forma de cada cacaotal, siguiendo siempre la dirección de la distancia más larga que ofrece el cacaotal (Figura 2). Se indicó siempre su orientación, con una brújula, procurando ubicarla de sur a norte. Todos los SAF-cacao y FB muestreados constituyen la red de parcelas temporales de estudio donde el Proyecto Cacao Centroamérica del CATIE pretende caracteriza el potencial de los cacaotales de Waslala para proveer servicios ambientales (Deheuevls 2009).

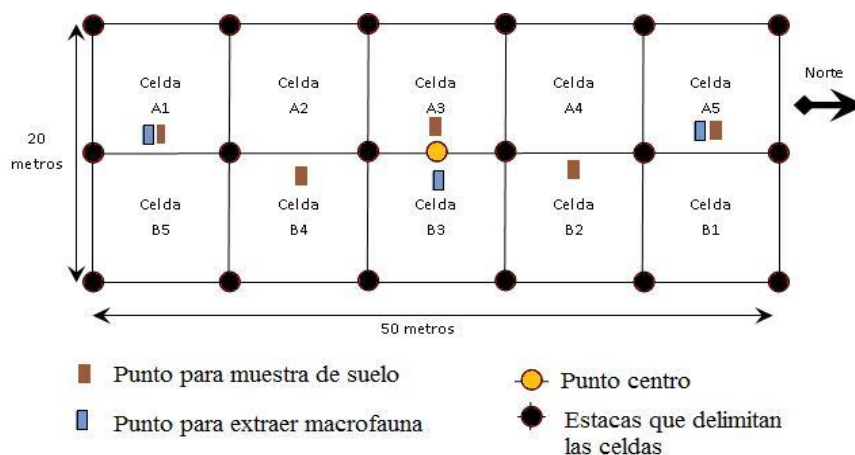


Figura 2. Diseño de la parcela de muestreo en los SAF-Cacao y FB de Waslala, RAAN, Nicaragua.

### VARIABLES E INDICADORES MEDIDOS

Las variables evaluadas en campo y laboratorio se dividieron en tres grupos: propiedades físicas, químicas y biológicas. En el grupo de propiedades físicas se evaluó: textura, densidad aparente, porcentaje de saturación de agua, humedad en volumen y porosidad. En el grupo de propiedades químicas se determinó: pH, acidez extraíble, calcio, magnesio, potasio, fósforo, cobre, manganeso, hierro, nitrógeno, carbono. Finalmente, en el grupo de propiedades biológicas se registraron los invertebrados del Phylum Artrópodos y se identificaron con el orden como más alto nivel taxonómico.

#### Muestreo Suelo

Para el análisis físico y químico del suelo se tomaron cinco muestras en diferentes puntos de la parcela (celdas A1, B4, A3, B2 y A5). En cada sitio se insertó un cilindro metálico (6 cm de diámetro x 10 cm de altura), a dos profundidades (0–10 y 10–20 cm). Las muestras fueron pesadas en húmedo y luego secadas a temperatura ambiente en un lugar seco, ventilado y bajo sombra. Se tomó una submuestra de 40 g para ser secada en horno a 130° C por 48 horas para determinar el peso seco y la densidad aparente. Para el análisis de textura se preparó una muestra compuesta de 500 g. El análisis químico se hizo sobre una muestra que contenía suelo de las dos profundidades y se determinó el pH, acidez extraíble, Ca, Mg, K, P, Cu, Mn, Fe, Carbono y Nitrógeno Total.

#### Muestreo Macrofauna

La macrofauna se muestreo en tres puntos de la parcela (celdas A1, B3 y A5) siguiendo el método Biología de Suelos Tropicales y Programa de Fertilidad (TSBF) modificado (Anderson e Ingram, 1993). El muestreo se limitó a la hojarasca y a un monolito de 25x25x10 cm de suelo, extrayendo todos los animales mayores a 2 mm de diámetro (Lavelle *et al.* 2003). La identificación de la macrofauna colectada se realizó en laboratorio, hasta orden y en algunos casos familia, como el más alto nivel taxonómico (Deheuevls *et al.* 2009).

## Análisis estadísticos

Los datos de campo fueron digitados en hojas de cálculo Excel y fueron analizados mediante técnicas multivariadas (InfoStat 2007). La información biofísica y de manejo de los cacaotales se analizó mediante estadísticas descriptivas. Se empleó el Análisis de Componentes Principales para determinar las correlaciones o similitudes entre las variables de una misma matriz (biológica, física o química) a través de un diagrama de distancia o de correlaciones. Luego se aplicó un análisis de conglomerados para agrupar las parcelas evaluadas por similitud (o separar por diferencia) utilizando el método de Ward de la varianza mínima. Se validaron los resultados del análisis de conglomerados representando los grupos en una ordenación (análisis inter-clases). Finalmente, se hizo un análisis de varianza para identificar las variables relevantes y responsables de la formación de los grupos de calidad de suelo. Los datos de diversidad de macrofauna a nivel de orden fueron comparados entre grupos de calidad de suelo (con base de los indicadores físicos y químicos). Se determinaron los índices de Shannon-Wiener para cada orden taxonómico usando el paquete estadístico InfoStat (2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Indicadores de calidad de suelo

Los 36 SAF-cacao y cuatro FB se conglomeraron en cuatro grupos de calidad de suelo ( $\pm$  Bases, + Bases, -Bases y C) con propiedades físicas y químicas similares dentro de los grupos pero distintas entre grupos (Figura 3). Las variables % de saturación, textura (% de arena, % limo, % arcilla), pH, K Ca Mg, Mn, Fe y CIC fueron estadísticamente diferentes entre los grupos de calidad de suelo (Tabla 1) y fueron las responsables de la diferenciación entre los grupos. A continuación se describen los grupos de calidad de suelo formados:

- El grupo  $\pm$  Bases conformado por 14 fincas se caracterizó por presentar un alto % de saturación, valores porcentuales de arena, limo y arcilla medio y valores de bases intercambiables alto.
- El grupo + Bases agrupo a 7 fincas con un % de saturación más bajo y el mayor contenido de bases intercambiables.
- El grupo - Bases formado por 11 fincas presentó el mayor valor de % de saturación, el menor contenido de arena, mayor cantidad de partículas de arcilla y limo y los menores contenidos de bases intercambiables.
- El grupo C conformado por 8 fincas se caracteriza por presentar el % de saturación de agua más bajo entre grupos, valores de % de arena alto, % limo y arcilla bajo y con el menor contenido de bases intercambiables.

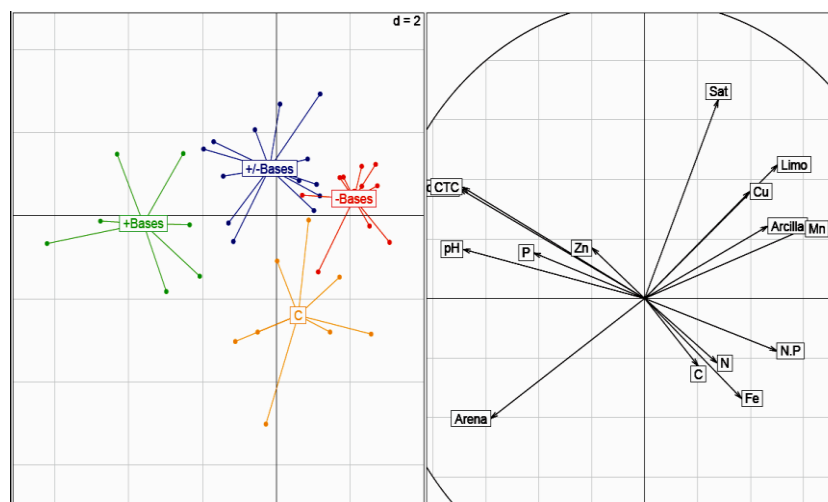


Figura 3. Análisis de componentes principales con las propiedades físicas y químicas de los SAF-Cacao y FB de Waslala, Nicaragua.

### Diversidad de macro fauna en el suelo

Se identificaron 24 grupos funcionales de macrofauna en todos los habitats evaluados. Los grupos funcionales más abundantes y de mayor relevancia como indicadores de salud de suelo fueron Formicidae (36%) y Oligochaetae (26%) que suman el 62% del total de individuos registrados. Los grupos larvas de Coleópteros, adultos de Coleóptero, Araneae, Isópteras, Gasterópodos, Diplópodos, Isópodos, larvas de Díptero y Blattaria agrupan el 31% de los individuos registrados. Los grupos funcionales restantes representaron solo el 7% de los individuos encontrados (Figura 4, Tabla 1). No se encontraron diferencias significativas entre la mayoría de grupos funcionales y los diferentes grupos de calidad de suelo. Únicamente, la abundancia de los grupos Oligochaeta, Blattaria y Gasteropoda fue estadísticamente diferente entre los grupos de calidad de suelo ( $p < 0.05$ ).

Tabla 1. Valores medios de los indicadores físico-químicos del suelo (0-20 cm) según grupos de calidad de suelo en los SAF-Cacao y FB en Waslala, Nicaragua.

Indicadores Físico-Químico	Grupos de calidad				Valor de P	R <sup>2</sup> (%)
	±Bases (n=14)	+ Bases (n=7)	-Bases (n=11)	C (n=8)		
Saturación (%)	87.4 ± 6.4	76.7 ± 9.25	88.6 ± 4.49	70 ± 10.17	0.0004	53.0
Arena (%)	32.1 ± 7.92	49.4 ± 8.71	29.1 ± 5.78	41.6 ± 8.71	0.0001	51.0
Limo (%)	39.3 ± 3.5	30.6 ± 3.73	40.2 ± 4.32	33.4 ± 5.85	0.0003	46.3
Arcilla (%)	28.6 ± 7.68	20 ± 6.22	30.7 ± 3.84	25.1 ± 6.42	0.007	27.9
pH	5.97 ± 0.23	6.39 ± 0.25	5.82 ± 0.09	5.78 ± 0.24	0.0001	53.2
KCaMg (kg ha <sup>-1</sup> )	5528 ± 1024.4	6374 ± 1075.82	3783 ± 405.76	3741 ± 644.66	0.0001	64.2
P (kg.ha <sup>-1</sup> )	10.3 ± 9.88	13.7 ± 5.52	5.33 ± 2.67	5.97 ± 2.38	0.03	20.2
Cu (kg.ha <sup>-1</sup> )	13.5 ± 3.96	8.06 ± 3.79	14.2 ± 4.49	9.7 ± 3.6	0.007	29.1
Zn (kg.ha <sup>-1</sup> )	8.54 ± 2.62	8.64 ± 4.84	6.85 ± 2.12	6.59 ± 4.58	0.43	7.40
Mn (kg.ha <sup>-1</sup> )	34.4 ± 13.54	15.4 ± 4.41	56.9 ± 22.71	27.8 ± 16.15	0.0002	46.8
Fe (kg.ha <sup>-1</sup> )	218 ± 67.86	166 ± 81.24	267 ± 77.25	329 ± 159.86	0.009	25.4
CIC	297 ± 55.13	340 ± 58.46	205 ± 20.79	201 ± 36.45	0.0004	62.9
N (kg.ha <sup>-1</sup> )	5356 ± 710.11	4875 ± 1616.56	5588 ± 599.32	6026 ± 1121.26	0.15	13.2
C	55.8 ± 6.98	49.2 ± 16.31	54.4 ± 5.42	62.6 ± 14.69	0.12	14.6
N/P	806 ± 411.84	423 ± 279.53	1303 ± 696.83	1242 ± 686.27	0.006	28.4

El grupo ± Base albergó la mayor densidad total de macrofauna con 1,174 individuos/m<sup>2</sup>, seguido del grupo – Base con 1,159 individuos/m<sup>2</sup>, en tercer lugar se ubicó el grupo + Base con 1,027 individuos/m<sup>2</sup> y por último el grupo C con 929 individuos/m<sup>2</sup>. La densidad total e índice de riqueza de macrofauna fueron estadísticamente similares entre los grupos de calidad de suelo (Tabla 3). Los índices de diversidad Shannon y de equidad fueron estadísticamente diferentes entre los grupos de calidad de suelo.

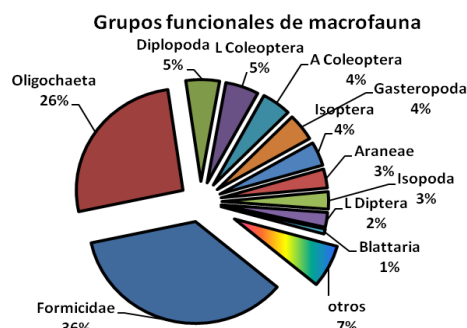


Figura 4. Densidad porcentual de los grupos funcionales de macrofauna encontrados en los SAF-Cacao y FB de Waslala, Nicaragua.



Tabla 3. Densidad, riqueza, índices de diversidad y equidad de la macrofauna según los grupos calidad de suelos en los SAF-Cacao y FB de bosques en Waslala, Nicaragua.

Macrofauna	Grupos de calidad de suelo (SAF-Cacao+FB)				P	R <sup>2</sup> (%)
	±Bases (n=14)	+Bases (n=7)	-Bases (n=11)	C (n=8)		
Densidad (#individuos/ m <sup>2</sup> )	1175 (±860)	1027 (±537)	1159 (±666.5)	929 (±507.4)	0.88	2.10
Riqueza (# ordenes)	16 (±2.9)	15 (±3.9)	14 (±2.57)	16.75 (±2.71)	0.20	11.6
Índice de Shannon	2.58 (±0.7)	2.44 (±0.3)	1.92 (±0.64)	2.85 (±0.38)	0.01	27.5
Índice de Equidad	0.65 (±0.16)	0.64 (±0.09)	0.51 (±0.18)	0.7 (±0.08)	0.03	21.6

± desviación estándar, N = número de parcelas por grupo.

## DISCUSIÓN

En términos generales, los valores medios de los indicadores físicos y químicos del suelo en todas las parcelas de SAF-Cacao y FB se encuentran alejados de los rangos críticos para el cultivo (Anexo 1). Cabe mencionar, que el Fósforo (P) fue el único elemento que registró deficiencias en todas las parcelas y eventualmente puede llegar a ser crítico para la productividad del cacao. Así mismo, se destacan los altos contenidos de Fe en todas las parcelas evaluadas. A continuación, se presenta una descripción general de la fertilidad potencial de los suelos en los cacaotales de Waslala, Nicaragua y se compara con estudios previos en otras zonas cacaoteras y cafetaleras de la región.

Los suelos del grupo – Base presentaron diferencias significativas en cuanto a Cu, y Mg, en comparación con los otros grupos de calidad de suelo (P<0.05), mientras que el grupo C registró mayor valor de F que el resto de grupos (P<0.05). El grupo + Base aunque tiene mayor contenido de macroelementos, registro menores valores de los microelementos que los restantes grupos de calidad suelo. El Zinc (Zn) no fue estadísticamente diferente entre los grupos de calidad de suelo conformados. Los suelos del grupo + Base presentaron diferencias significativas en suma de base (K, Ca y Mg) comparándolo con los demás grupos (P<0.05), mientras que el ± Base registró mayor valor de fósforo que otros grupos (P<0.05). En nitrógeno total y carbono no hubo diferencias significativas, pero si lo presentó la relación Nitrógeno-Fósforo (P<0.05).

Se observaron diferencias significativas entre los grupos (P= 0.0001), siendo el grupo +Base el que obtuvo mayor valor con respecto al pH. Según Molina y Meléndez (2002) los rangos de pH se clasifican en: Bajo (< 5), Medio (5-6), Óptimo (6-7), Alto (>7), por tanto, el valor del pH estuvo dentro del rango óptimo para cacao. Valores similares fueron reportados por George (2006) para cafetales bajo manejo orgánico. Cerda (2008) reportó valores de pH en los suelos de cacaotales y bananales de Talamanca, Costa Rica por debajo a los registrados en los cacaotales de Waslala, es decir más ácidos.

La densidad total de macrofauna en los grupos ± Base, -Base, +Base y C, fue mayor a los 896 individuos/m<sup>2</sup> reportados por Linares *et al.* (2006) en sistemas agroforestales con café y otros sistemas agroforestales y los registrados por Pashanasi (2001) en bosques secundarios de la amazonia Peruana de diferentes edades (446 individuos/m<sup>2</sup>); pero menor a los valores encontrados por Ceron *et al.* (2008) en bosques protegidos en Nariño (2176 individuos/m<sup>2</sup>). Cacaotales establecidos en suelos Vertisoles del Valle del Cauca, Colombia, albergaron mayor riqueza y densidad de individuos que otros usos de la tierra, registrando 80 unidades taxonómicas pertenecientes a 18 órdenes. Las hormigas, miriápodos y lombrices fueron los grupos más abundantes, mientras que lombrices y coleópteros hicieron mayor aporte de biomasa (Marín, *et al.* 2001).

En Turrialba, Costa Rica se compararon los indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelo en 24 fincas de café orgánico y convencional bajo sombra diversificada, café en pleno sol y en tres bosques (George, 2006). Los resultados sugieren que las fincas con manejo orgánico presentan valores de Ca y pH más altos que las fincas con manejo convencional. Con base en el índice de calidad de suelo aditivo (ICSA) se concluyó que las fincas orgánicas tienden a albergar mayor diversidad biología en suelo y conservan las funciones básicas del ecosistema en comparación con las fincas con manejo convencional. En los cacaotales de Waslala se identificaron 24 grupos funcionales, siendo los más abundantes los grupos Formicidae y Oligochaeta. En evaluaciones de macrofauna de sistemas agroforestales con café y otros sistemas agroforestales y áreas naturales de Perú se encontró que estos sistemas fueron menos diversos, registrando solo 13 grupos funcionales, siendo el grupo Oligochaeta el predominante en los diferentes usos de suelos estudiados. Los índices de diversidad registrados en los cacaotales de Waslala fueron entre 1.92 a 2.85. Arango (2007) reportó en cafetales de Puerto Rico índices de diversidad similares para los grupos de calidad de suelo C, ±Base, +Base. Según el índice de equidad obtenido en todos los cacaotales existe más del 50% de probabilidad de encontrar los grupos funcionales en cualquiera de las fincas cacaoteras estudiadas.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los SAF-Cacao y FB de Waslala fragmentos de bosques estudiados se conglomeraron en cuatro grupos de calidad de suelo. En base a los resultados y relaciones entre los indicadores físicos, químicos y macrofauna, el grupo +base se clasificó como “Muy Bueno”, los grupos ±bases y C se consideran “Buenos” y el grupo -base “Regular”. En todas los SAF-Cacao y FB los indicadores físico-químicos del suelo se encontraron alejados de los rangos críticos para el cultivo. La diversidad de macrofauna en todos los conglomerados formados se considera buena y según el índice de Shannon el grupo C fue el más diverso y el -Base registró la menor diversidad ( $H=1.92$ ). Se recomienda a las familias productoras de cacao de Waslala incrementar los contenidos de P en el suelo, aplicando compuestos ricos en este elemento, tales como mulch, estiércol bovino, lombrihumus, trozos de pseudotallos de musáceas y conchas de cacao. Adicionalmente se sugiere incorporar materia orgánica al suelo que favorezca el hábitat para la macrofauna y el ciclaje de nutrientes del cacaotal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arango, M. (2007)., Zonificación agroecológica del café en puerto rico y análisis estructural y de composición de especies arbóreas presentes en el agroecosistema cafetero. Tesis para MSc. Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayaguez.
- Bonilla, R, Roncallo, B., Jimeno, J., García, T. (2008). Producción y descomposición de la hojarasca en bosques nativos y de *Leucaena* sp., en Codazzi, Cesar. Revista Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Colombia.
- Cerdas, R, (2008)., Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y Plátano (*Musa AAB*). (Tesis de MSc. Catie, Turrialba, Costa Rica. Talamanca, Costa Rica.
- Cerón, P., Montenegro, S., Noguera, E. 2008. Macrofauna en suelos de bosque y pajonal de la Reserva Natural Pueblo Viejo, Nariño, Colombia. Revista Académica Coloma 32(125).
- Dehevels, O; Avelino, J; Cerda, R; Pérez, G; Rousseau, G. (2009)., “Protocolos de investigaciones: Componente I: Productividad y Ambiente. Documento Proyecto Cacao Centroamerica (PCC).
- George, A., (2006). Estudio comparativo de indicadores de calidad de suelo en fincas de café orgánico y convencional. Tesis MSc.
- InfoStat. 2010. Universidad Nacional de Córdoba. 2004. Manual del usuario. Córdoba, Argentina, Editorial Brujas. 318 p.
- Linares, D; Tapia, S; Gamarra, O; Torrez, J. (2006)., Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en el parque nacional Tingo Maria Huanuco – Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Pashanasi, B. (2001)., Estudio Cuantitativo de La Macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía Peruana. Folia Amazonica 12: 1-2.
- Philip, et al.(2003)., Observaciones sobre el sistema mucuna-maíz en laderas de Waslala, región atlántica de Nicaragua. Agronomía Mesoamericana. Cartago – Costa Rica. 7 pp.
- Suatunce, P., Somarriba, E., Harvey, C., Finegan, B. (2004)., Diversidad de escarabajos estiercoleros en el bosque y en cacaotales con diferente estructura y composición florística en Talamanca. Revista Agroforestería en las Américas 41-42: 69-72



Anexo 1. Densidad de macrofauna del suelo por grupo funcional y grupos de calidad de suelos en los SAF-Cacao y FB de Bosques de Waslala, Nicaragua.

Grupo funcional de Macrofauna	Grupos de calidad de suelo								P	R <sup>2</sup> (%)
	+/-Bases (n= 4)		+Bases (n=7)		-Bases (n=11)		C (n=8)			
Oligochaeta	787.43	(+/-504.02)	820.57	(+/-341.13)	1473.45	(+/-934.34)	574	(+/-177.44)	0.01	26.1
Enchy	30.86	(+/-26.97)	9.14	(+/-12.59)	17.45	(+/-39.49)	18	(+/-44.8)	0.53	6
A. Coleoptera *	156.57	(+/-98.47)	249.14	(+/-226.25)	81.45	(+/-43.79)	140	(+/-153.88)	0.07	16.5
L. Coleoptera **	216	(+/-149.01)	242.29	(+/-358.54)	126.55	(+/-42.61)	124	(+/-134.61)	0.41	7.7
L. Diptera	81.14	(+/-74.11)	171.43	(+/-355.34)	39.27	(+/-39.43)	36	(+/-39.89)	0.27	9.7
L. Lepidoptera	9.14	(+/-18.53)	11.43	(+/-17.8)	2.91	(+/-6.47)	10	(+/-8.28)	0.6	5.4
Formicidae	1609.14	(+/-2352.17)	1373.71	(+/-732.65)	1342.55	(+/-2197.94)	656	(+/-645.24)	0.79	3.6
Isoptera	126.86	(+/-451.78)	80	(+/-102.45)	4.36	(+/-10.35)	320	(+/-866.75)	0.79	3.6
Blattaria	21.71	(+/-29.17)	2.29	(+/-6.05)	8.73	(+/-11)	78	(+/-119.87)	0.01	20.5
Dermaptera	5.71	(+/-10.13)	48	(+/-88.12)	0	(+/-0)	20	(+/-38.96)	0.06	16.4
Orthoptera	18.29	(+/-23.36)	22.86	(+/-24.19)	7.27	(+/-13.12)	8	(+/-8.55)	0.24	11
Hemiptera	29.71	(+/-45.19)	64	(+/-69.13)	14.55	(+/-15.1)	18	(+/-21.7)	0.08	16.3
Homoptera	4.57	(+/-7.5)	18.29	(+/-19.44)	5.82	(+/-8.07)	8	(+/-12.09)	0.07	17
Geophilomorpha	11.43	(+/-14.62)	18.29	(+/-31.23)	2.91	(+/-6.47)	40	(+/-65.69)	0.09	14.8
O Chilopoda	38.86	(+/-41.96)	36.57	(+/-31.62)	23.27	(+/-30.66)	36	(+/-25.3)	0.71	3.7
Diplopoda	42.29	(+/-47.22)	338.29	(+/-825.23)	32	(+/-38.53)	300	(+/-509.55)	0.16	11.1
Isopoda	92.57	(+/-68.22)	84.57	(+/-76.57)	94.55	(+/-60.91)	112	(+/-122.75)	0.93	1.3
Araneae	102.86	(+/-107.74)	150.86	(+/-226.62)	50.91	(+/-37.06)	118	(+/-63.96)	0.34	8.6
Opilionidae	12.57	(+/-14.28)	29.71	(+/-32.57)	23.27	(+/-23.04)	12	(+/-11.31)	0.22	11.4
Pseudoscorpiones	13.71	(+/-18.68)	41.14	(+/-74.39)	10.18	(+/-16.43)	26	(+/-29.55)	0.28	9.7
Schizomidae	2.29	(+/-5.81)	6.86	(+/-12.59)	1.45	(+/-4.82)	6	(+/-16.97)	0.65	5.1
Symphyla	22.86	(+/-31.2)	22.86	(+/-53.75)	24.73	(+/-21.9)	22	(+/-37.22)	0.99	0.1
Gastropoda	52.57	(+/-53.41)	411.43	(+/-731.62)	72.73	(+/-92.57)	68	(+/-59.71)	0.01	17.3
Ixodidae	8	(+/-12.15)	0	(+/-0)	2.91	(+/-6.47)	18	(+/-24.84)	0.05	18.4

± desviación estándar, N = número de parcelas, \* Coleoptero adulto, \*\* Larva de coleóptero.





Anexo 2. Resultados del análisis químico de las muestras de suelo de los SAF-Cacao y FB de Waslala, Nicaragua (Parte 1).

Parcela	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe	N	C.T.
	H <sub>2</sub> O	cmol(+)/kg	mg/kg	mg/kg	%	%						
N01	6.0	0.05	10.47	2.49	0.4	18.3	8.1	4.9	14	40	0.28	2.56
N02	6.3	0.05	10.4	2.93	0.64	12.2	5.3	3.9	6.3	133	0.29	2.77
N03	5.8	0.06	9.18	3.37	0.33	1.8	8.1	3.9	27.9	124	0.32	3.21
N04	5.9	0.05	6.75	2.76	0.4	3.6	4.9	3.1	53	109	0.21	2.69
N05	6.0	0.05	10.74	3.31	0.65	6.1	5.1	4.8	21.9	168	0.26	2.84
N06	5.5	0.2	8.62	2.67	0.24	2.8	4.9	1.5	11.2	371	0.4	4.62
N07	5.9	0.05	9.72	2.45	0.34	1.2	13.2	2.5	36	85	0.36	3.6
N08	5.9	0.06	7.92	2.73	0.3	2.3	6.5	3	39.6	139	0.27	3.04
N09	5.6	0.05	18.36	4.59	0.51	6.8	4	4.8	16.9	102	0.31	3.3
N10	6.0	0.05	15.94	4.13	0.78	4.1	5.2	4.5	11.7	99	0.4	4.48
N11	5.9	0.07	9.91	2.52	0.21	3.4	9.4	3.7	26.8	112	0.3	3.06
N12	5.5	0.22	13.77	6.62	0.42	2.5	6.5	2.4	35.2	124	0.3	3.07
N13	5.9	0.07	7.2	3.06	0.29	2.3	9.4	3.7	45.4	154	0.3	2.99
N14	6.9	0.05	13.72	6.22	0.65	8.9	10	13.1	6.8	55	0.42	4.78
N15	5.9	0.05	14.94	4.01	0.27	13.8	9.2	3.2	14.6	132	0.34	3.73
N16	6.2	0.07	9.68	3.3	0.87	2.7	12.2	7.3	28.1	110	0.26	2.71
N17	6.1	0.05	8.29	3.36	0.6	2.3	7.4	2.9	16.6	143	0.27	3.05
N18	6.1	0.05	8.03	3.57	0.72	3.7	7.9	4.2	20.2	166	0.25	2.73
N19	5.3	0.09	4.86	1.53	0.29	4.4	5	2.7	21.3	193	0.23	2.51
N20	6.1	0.06	10.01	2.52	0.2	3.6	5.6	5.3	9.9	97	0.16	2.22



Anexo 3. Resultados del análisis físico de las muestras de suelo los SAF-Cacao y FB de Waslala, Nicaragua (Parte 2).

Parcela	pH	Acidez	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Mn	Fe	N	C.T.
	H <sub>2</sub> O	cmol(+)/kg	mg/kg	mg/kg	%	%						
N22	6.0	0.05	7.66	2.43	0.63	3.3	5.1	3.8	13.5	134	0.25	2.69
N23	6.5	0.06	15.41	3.86	0.95	9.4	2.3	3	7	48	0.14	1.69
N24	6.2	0.05	13.92	4.63	0.71	5.2	3.2	3	7.7	76	0.16	1.5
N25	6.1	0.05	9.15	3.01	0.49	2.9	5.4	4.6	13.1	114	0.26	2.16
N26	5.8	0.06	10.45	3.17	0.54	7.1	11.1	3.9	23.8	138	0.35	3.33
N27	5.9	0.05	6.69	2.98	0.35	4.2	6.6	3.8	20.6	132	0.3	2.75
N28	5.9	0.05	8.44	3.63	0.26	2.1	5.7	4.5	18	113	0.28	2.63
N29	5.9	0.05	7.16	2.38	0.34	2.8	6.2	5.1	23.8	126	0.28	2.39
N30	5.9	0.05	7.95	2.88	0.49	2	8.6	6.4	23.4	144	0.33	3.01
N31	5.9	0.06	7.34	2.14	0.79	4	8.4	8.8	21.1	170	0.28	2.48
N32	5.8	0.06	7.41	3.47	0.41	1.4	7	4.1	30.4	132	0.33	3.06
N33	5.7	0.05	7.37	2.61	0.2	2.1	3.4	2.5	14.1	194	0.28	2.24
N34	6.2	0.05	11.27	3.04	0.52	6.9	3.2	3.5	10.4	154	0.32	3.12
N36	5.6	0.07	6.68	2.26	0.29	2.6	7.9	2.9	30.3	241	0.34	3.29
N37	6.4	0.07	12.51	4.9	0.56	2	7.7	4.6	6.8	74	0.29	2.78
N38	6.2	0.06	14.95	5.56	0.64	5.8	4.8	3.7	11.1	69	0.19	1.83
NB21	6.4	0.05	13.65	4.13	0.6	3.7	2.7	4.4	8.4	85	0.37	3.51
NB35	5.9	0.05	10.69	5	0.47	4.5	2.4	1.1	7.9	119	0.44	4.61
NB39	5.8	0.06	8.43	2.68	0.31	4.3	3.9	2.9	6.2	249	0.44	4.8
NB40	6.0	0.06	9.21	3.5	0.47	1.8	6.8	4.4	10.5	102	0.39	3.87



Anexo 4. Resultados del análisis físico de las muestras de suelo de los SAF-Cacao y FB de Waslala, Nicaragua (Parte 1).

Parcela	H <sub>2</sub> O/Peso %	H <sub>2</sub> O/Vol %	DA g/cm <sup>3</sup>	Porosidad %	Saturación %	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
N01	44.88	47.61	1.08	59.13	80.23	38.8	41.6	19.6	Franco
N02	56.16	52.47	0.97	63.25	83.09	42.8	29.7	27.5	Franco arcilloso
N03	67.96	60.11	0.93	65.05	92.10	28.8	37.5	33.7	Franco arcilloso
N04	51.46	50.22	0.99	62.53	81.55	22.8	43.5	33.7	Franco arcilloso
N05	56.08	57.35	1.06	60.07	95.37	36.8	39.5	23.7	Franco
N06	72.17	61.18	0.87	66.98	91.43	34.8	27.5	37.7	Franco arcilloso
N07	64.75	56.89	0.90	66.03	86.48	38.8	31.5	29.7	Franco arcilloso
N08	69.44	61.57	0.92	65.29	94.31	22.8	43.5	33.7	Franco arcilloso
N09	73.62	58.53	0.91	65.84	88.95	32.9	39.8	27.3	Franco arcilloso
N10	67.35	54.53	0.82	68.98	79.01	39.0	39.7	21.3	Franco
N11	59.68	54.64	0.94	64.39	84.70	32.9	41.8	25.3	Franco
N12	75.33	61.28	0.84	68.33	89.81	29.0	37.7	33.3	Franco arcilloso
N13	66.27	59.57	0.91	65.64	90.66	29.0	37.7	33.3	Franco arcilloso
N14	88.02	59.53	0.74	72.00	84.24	35.0	35.7	29.3	Franco arcilloso
N15	82.33	64.01	0.83	68.77	92.82	43.0	37.7	19.3	Franco
N16	66.59	60.10	0.92	65.38	92.07	23.0	45.7	31.3	Franco arcilloso
N17	62.62	57.13	0.94	64.52	88.86	26.9	35.8	37.3	Franco arcilloso
N18	62.74	57.04	0.94	64.43	88.75	33.0	43.7	23.3	Franco
N19	38.37	37.70	0.99	62.50	60.64	40.9	37.8	21.3	Franco
N20	48.93	53.51	1.13	57.34	93.51	17.2	39.5	43.3	Arcilloso



Anexo 5. Resultados del análisis físico de las muestras de suelo de los SAF-Cacao y FB de Waslala, Nicaragua (Parte 2).

Parcela	H <sub>2</sub> O/Peso %	H <sub>2</sub> O/Vol %	DA g/cm <sup>3</sup>	Porosidad %	Saturación %	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
N22	43.78	43.43	1.00	62.34	69.67	34.9	35.3	29.8	Franco arcilloso
N23	44.85	41.29	0.92	65.10	63.56	61.0	25.9	13.1	Franco arenoso
N24	52.68	48.71	0.99	62.49	76.61	57.0	25.8	17.2	Franco arenoso
N25	46.64	48.03	1.04	60.59	79.23	45.0	31.8	23.2	Franco
N26	78.03	58.06	0.81	69.36	84.20	35.0	39.7	25.3	Franco
N27	66.79	61.58	0.96	63.63	96.32	25.0	39.7	35.3	Franco arcilloso
N28	44.95	45.75	1.06	59.95	76.13	27.0	39.7	33.3	Franco arcilloso
N29	56.38	55.53	1.01	62.05	89.31	27.0	45.7	27.3	Franco arcilloso
N30	67.44	57.30	0.87	67.15	85.24	23.0	43.7	33.3	Franco arcilloso
N31	47.82	44.02	0.95	64.16	68.73	31.0	41.7	27.3	Franco arcilloso
N32	52.08	45.93	0.90	66.10	69.63	37.0	37.7	25.3	Franco
N33	54.53	53.59	1.00	62.39	85.85	37.0	35.7	27.3	Franco arcilloso
N34	52.09	48.42	0.96	63.84	76.04	47.3	31.7	21.0	Franco
N36	67.98	59.03	0.89	66.55	88.66	31.3	43.7	25.0	Franco
N37	68.01	61.35	0.92	65.19	94.16	25.3	35.7	39.0	Franco arcilloso
N38	53.58	54.03	1.02	61.59	87.68	51.3	31.7	17.0	Franco
NB21	51.45	43.97	0.87	67.00	65.64	51.3	33.6	15.1	Franco
NB35	57.74	45.61	0.83	68.82	65.96	47.3	33.6	19.1	Franco
NB39	46.72	39.36	0.86	67.55	58.65	53.3	27.6	19.1	Franco arenoso
NB40	80.57	54.50	0.71	73.11	75.50	53.3	25.6	21.1	Franco arcillo arenoso





Anexo 6. Mapa de un SAF-Cacao y los usos del suelo colindantes en Waslala, Nicaragua (Nota: no se estudió la influencia de la variedad, distancia y tipo de manejo de los usos de suelo colindantes en los SAF-Cacao y FB sobre los grupos de calidad de suelo).

