

Propiedades biológicas y físicas del suelo bajo diferentes sistemas de manejo en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en La Divisoria – Tingo María

Biological and physical soil properties under different management systems in the cultivation of coffee (*Coffea arabica* L.) in La Divisoria - Tingo Maria

Samuel Quispe Chacón¹ y Nelino Florida Rofner²

RESUMEN

Con la finalidad de determinar las propiedades biológicas y físicas del suelo, bajo diferentes sistemas de manejo, en el cultivo de café (*Coffea arabica* L.), se realizó esta investigación en el periodo de febrero – agosto del 2011 en los sectores Hermilio Valdizán y Margarita, ubicados en la parte alta de la microcuenca del río Azul, provincia Leoncio Prado, región Huánuco. Se delimitaron parcelas con sistema de manejo mejorado – MMS (rozo y sin quema más abonos orgánicos), sistema de manejo tradicional – TMS (rozo, tumba y quema), y sistema de bosque virgen – BVS (se intervino con caza de animales y extracción de algunos árboles maderables). Se observó que el contenido de carbono en la biomasa herbácea y arbustiva fue mayor en el TMS; el carbono encontrado en la biomasa de hojarasca fue superior en el BVS y que la materia orgánica en el suelo (MOS). La diversidad de macrofauna, actividad respiratoria, la densidad aparente, resistencia del suelo a la penetración, e inestabilidad estructural del suelo presentan valores superiores en el MMS. Finalmente, se encontró una relación que sigue la siguiente línea, a mayor contenido de materia orgánica y actividad microbiana en suelo, disminuye la inestabilidad estructural de suelos con cultivos de café.

Palabras clave: suelo, sistema, diversidad.

ABSTRACT

Managing in the culture of coffee (*Coffea arabica* L.), there were carried out an investigation in the period of February – August, 2011 in the sectors Hermilio Valdizán and Margarita, located in the high part of the microbasin Río Azul, province of Leoncio Prado, Huanuco. Plots were delimited with improved managing system – MMS (rub and without burning with organic fertilizer), managing tecnificated system– TMS (rub, fall down and burning) and virgin forest system – BVS (some providing useful wood trees were controlled by hunt for animals and extraction). There were found that the content of carbon in the herbaceous and shrubs biomasa was major in the TMS; the carbon found in the biomass of verbiage was top in the BVS; the Organic Matter in the Soil (MOS), the diversity of classes taxonomical of macrofauna, the respiratory activity, the apparent density, the resistance of the soil to the penetration and the structural instability of the soil present top values in the MMS; in addition there were found a relation that indicated that to major content of organic matter and microbial activity in the soil, diminishes the structural instability of soils with coffee crops.

Keywords: soil, system, diversity.

¹Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, mención Conservación de Suelos y Aguas. Universidad Nacional Agraria de la Selva. E-mail: samuelquispec@gmail.com

²Ingeniero Forestal. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Docente de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Avenida Universitaria s/n, Tingo María, Huánuco. E-mail: nelinof@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda en la producción de alimentos ha impulsado al uso intensivo, y hasta desmedido, del recurso suelo. Así, el empleo de prácticas de manejo inadecuadas ha provocado la degradación de los suelos y, como consecuencia, el deterioro de la calidad edáfica en vastas zonas del planeta. Informes econométricos sugieren que la actividad cafetera, vía consumo, impacta más en el crecimiento económico que la industria minera (Sanz *et al.*, 2012). De hecho, en el Perú, en los últimos años, el cultivo de café ha adquirido gran importancia económica, en diferentes suelos de la selva central del país, entre las regiones de Huánuco, Pasco y Junín. Sin embargo, en las montañas de estas regiones se encuentran suelos fácilmente erosionables, por sus características edafoclimáticas.

La parte alta de la microcuenca del río Azul forma parte de la cadena montañosa Cordillera Azul presentando un clima con fuertes precipitaciones y suelos con fuertes pendientes. Allí es donde se desarrolla la caficultura cada vez más intensa. Las parcelas de café fueron instaladas en esta zona mediante prácticas de desbosque y quema, las mismas que están siendo manejadas tradicionalmente, sin ninguna práctica de conservación del recurso suelo. Esto trae como resultado la erosión y pérdida de la calidad del suelo, y el deterioro del ambiente suelo. Cabe destacar que la cantidad de nutrientes requeridos por la cosecha varía de acuerdo a las características del cultivo, a factores climáticos y al manejo cultural (Havling *et al.*, 1999, citado en Sadeghian *et al.*, 2006).

En la búsqueda de una agricultura sustentable, es importante determinar, o realizar en la zona, medidas de recuperación y preservación de los suelos, sus propiedades biológicas e indicadores de calidad física que son esenciales en la evaluación de las prácticas de manejo de suelo en cafetales. Estos indicadores podrían ser la estabilidad estructural y la funcionalidad del suelo, respecto a la materia orgánica. Asimismo, la conversión de sistemas convencionales de producción, caracterizados por monocultivos manejados con altos insumos, a sistemas diversificados de bajos insumos, se basa en dos pilares agroecológicos: la diversificación del hábitat y el manejo orgánico del

suelo (Altieri *et al.*, 2007). En este sentido, De Aguiar (2008) sugiere que en un manejo agroforestal debe existir cierta indicación de antecedentes de calidad física de suelo. Porque la alteración de las condiciones del suelo, por las prácticas de manejo, puede afectar a la producción de los cultivos, por un lado, a través de su influencia en la distribución de la materia orgánica, actividad microbiana y dinámica de nutrientes; y por otro, modificando propiedades físicas del suelo como agregación y porosidad (Díaz-Zorita *et al.*, 2002).

Es importante señalar que la mayoría de caficultores, de esta parte alta de la microcuenca del río Azul, no están realizando labores de preservación del suelo. Solo algunos han implementado medidas de recuperación, mediante la incorporación de abonos orgánicos compostados, con alto contenido de materia orgánica, y enriquecido con microorganismos eficientes.

En este sentido, los objetivos de este trabajo se centran en evaluar la biomasa vegetal, materia orgánica, fauna y respiración microbiana del suelo; en determinar la densidad aparente, resistencia y estabilidad estructural del suelo en los sistemas de manejo de suelo; para finalmente, analizar una relación entre los indicadores biológicos y físicos en los sistemas de manejo de cafetales en selva alta.

La presente investigación busca contribuir a la ciencia en el análisis de la actividad de los microorganismos en el suelo, que son los indicadores a corto plazo de la dirección del ecosistema; es decir, si este se encamina a su recuperación, preservación o degradación. Asimismo, se pretende alcanzar un punto de partida en los planes y proyectos de manejo de suelos, para la preservación y medidas de mitigación de la degradación de suelo en el cultivo de café.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la parte alta de la microcuenca del río Azul (Figura 1). La parcela evaluada se ubica entre las coordenadas UTM 406942 Este y 8983060 Norte (sector Hermilio Valdizán), y 410529 Este y 8987310 Norte (sector Margarita).

El sector de La Divisoria oscila entre los 1100 a 1600

m.s.n.m., siendo la precipitación de 3184 mm, en el año 2011 y en el año 2012 de 2974,9 mm. La temperatura media mensual es de 18 °C a 21 °C (SENAMHI, 2013), mientras que la humedad relativa media es superior a 70%.

De acuerdo a la clasificación de las zonas de vida, la investigación corresponde a un bosque muy húmedo Premontano Tropical transicional a bosque húmedo Tropical bmh-PT/bh-T (Holdridge, 1987).

En la Capacidad de Uso Mayor de la ZEE realizada en Leoncio Prado (GRH, 2012), los suelos de Hermilio Valdizán y Margarita son clasificados en la asociación Suelo Pampamarca (PA) del subgrupo Typic Eutru-depts. Estos suelos están conformados por un perfil ABCR, moderadamente profundo; de color pardo grisáceo oscuro a pardo amarillento oscuro y textura media a fina. El horizonte superficial A presenta color pardo

grisáceo oscuro y textura franca sobre el horizonte B, el cual está estructurado en bloques gruesos, de consistencia firme, arcillosa, y color pardo amarillento. Finalmente, el estrato masivo denominado CR está formado por materiales con rocas angulares. Químicamente, los suelos son de reacción fuertemente ácida a moderadamente ácida y la capacidad de intercambio catiónico varía de 16 a 19,20 cmol/kg de suelo, no salino.

La vegetación en la zona de Hermilio Valdizán y Margarita es un complejo de cultivos y purmas cuya estructura general consta de arbustos y bosques (Zarate y Mory, 2010). Los lugares evaluados son cafetales bajo sombra y bosques.

Fisiográficamente, las zonas de Margarita y Hermilio Valdizán se encuentran en el gran paisaje relieve montañoso, paisaje montañas bajas y altas, y en el subpaisaje de laderas ligera a moderadamente empinadas (GRH, 2012).

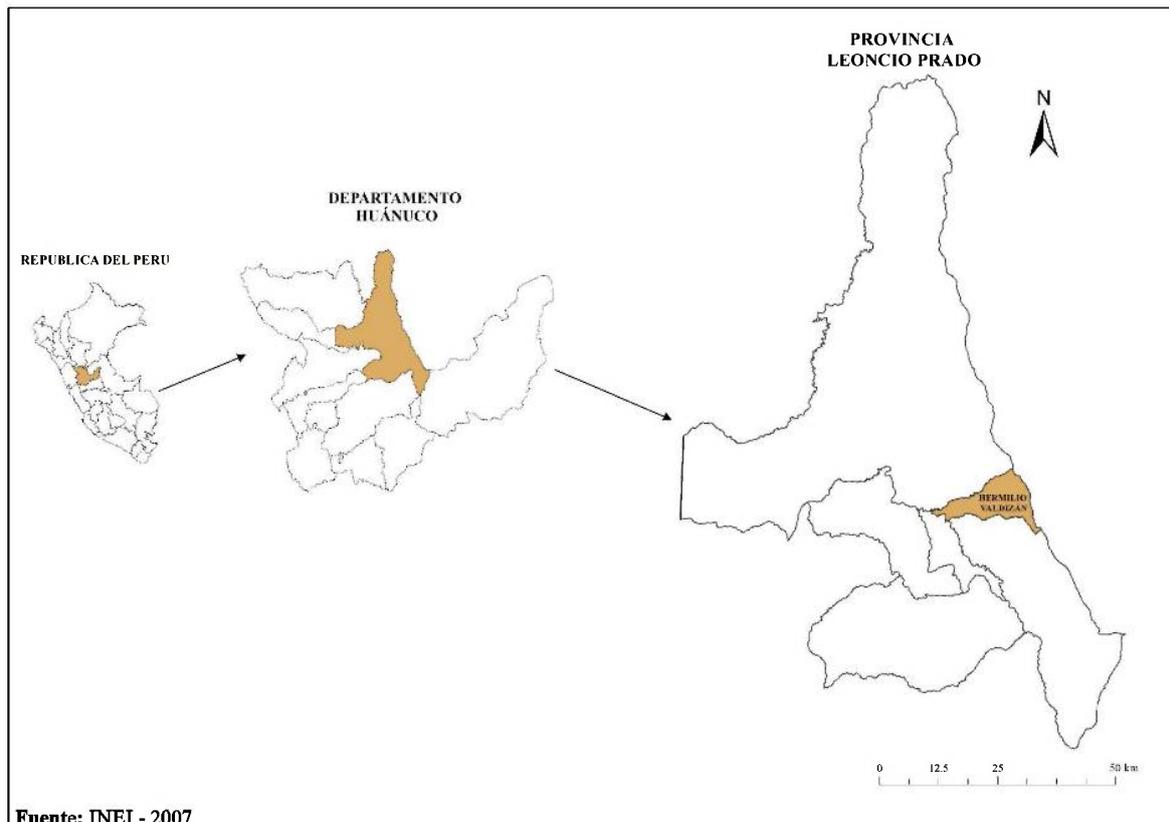


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio, departamento de Huánuco, provincia de Leoncio Prado.

Sistemas de evaluación.

Los sistemas evaluados fueron: Sistema de Manejo Mejorado (MMS), Sistema de Manejo Tecnificado (TMS), y Sistema de Bosque Virgen (BVS). Se recolectaron muestras de suelo en diferentes profundidades, de 0-10 y 10-20 cm. Para ello, se realizaron tres calicatas de 25 por 25 cm por sistema evaluado. Seguidamente, se muestreó la biomasa arbustiva/herbácea y biomasa de hojarasca. Finalmente, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, de acuerdo a las siguientes agrupaciones:

Análisis biológico:

La Biomasa arbustiva y herbácea se determinó siguiendo la metodología usada por Alegre *et al.*, 2002; por otra parte, la fauna del suelo y la biomasa microbiana siguieron la metodología de Anderson e Ingram, 1993.

Análisis físico:

La estabilidad estructural del suelo se evaluó mediante el protocolo seguido por Nuñez, 2001, y la densidad aparente con el de Porta *et al.*, 1999; además, la resistencia a la penetración fue evaluada a partir de la metodología marcada por Ramírez y Salazar, 2005.

Análisis de datos

Se utilizó el diseño de completamente al azar (DCA), con tres repeticiones por cada sistema, con su respectivo análisis de varianza, en cada variable analizada y en cada zona. Los datos obtenidos de cada unidad muestral se sometieron a la prueba de significación estadística de Tuckey ($\alpha=0,05$).

III. RESULTADOS

Biomasa vegetal

• Biomasa herbácea arbustiva

La biomasa herbácea y arbustiva, en sistemas de manejo en cafetales en la zona de Margarita, presenta un 36,83% de cobertura vegetal (C.V.) y, de acuerdo a la prueba de Tukey, se observan diferencias significati-

vas para el efecto del sistema de manejo de suelo en cafetales, obteniendo valores promedios de 0,44 TM/HA para el BVS, 0,19 TM/HA para el MMS, y 1,13 TM/HA para el TMS. Similarmente en la zona de Hermilio Valdizán, se presenta un 37,81% de C.V. y, de acuerdo a la prueba de Tukey, existen diferencias significativas para el efecto del sistema de manejo de suelo en cafetales, obteniendo valores promedios de 0,61 TM/HA para el BVS, 0,32 TM/HA para el MMS, y 1,17 TM/HA para el TMS. En el MMS se mostraron biomasa herbácea - arbustivas menores.

• Biomasa de hojarasca

La biomasa de hojarasca, en sistemas de manejo en cafetales de la zona de Margarita, presenta un 36,6 de C.V. y, de acuerdo a la prueba de Tukey, existen diferencias significativas para el efecto del sistema de manejo de suelo en cafetales, obteniendo valores promedios de 61,75 TM/HA para el BVS, 3,91 TM/HA para el MMS, y 4,55 TM/HA para el TMS. Similarmente, en la zona de Hermilio Valdizán, se observa un 68,9 de C.V., que de acuerdo a la prueba de Tukey, se puede decir que existen diferencias significativas para el efecto del sistema de manejo de suelo en cafetales, obteniendo valores promedios de 63,85 TM/HA para el BVS, 4,91 TM/HA para el MMS, y 5,92 TM/ha para el TMS.

• Materia orgánica del suelo

El contenido en materia orgánica, de acuerdo a la prueba Tukey (Figura 2) para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm en la zona Margarita, no mostró diferencia significativa para el efecto del uso de los suelos en BVS y MMS, pero sí para el TMS, obteniéndose valores promedios de 2,30% de MO para el BVS, 2,69% MO para el MMS, y 1,98% MO para el TMS (en la primera profundidad).

El contenido de materia no mostró diferencia significativa a la profundidad de 10 a 20 cm para la zona de Hermilio Valdizán, de acuerdo a la prueba Tukey (Figura 2). Además, el análisis de varianza resultó ser de un 26,70% y 32,28% de C.V., respectivamente para las profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm, mostrando

diferencias significativa para el efecto del uso de los suelos en BVS respecto al MMS y TMS. Estos últimos no presentaron diferencias significativas para ambas profundidades, obteniéndose valores promedios de 3,20% de MO para el BVS, 6,28% MO para el MMS, y 2,34% MO para el TMS (en la primera profundidad).

El MMS en los 10 primeros centímetros presenta niveles superiores de M.O., un valor que resulta de nivel

medio para la zona de Margarita, y alto para la zona de Hermilio Valdizán, respecto al BVS y TMS. Cabe destacar que no habiendo diferencia significativa de materia orgánica de 10 a 20 cm de profundidad para ambas zonas, sí queda claro que los valores son superiores en el contenido de materia orgánica en el MMS de la zona Hermilio Valdizán.

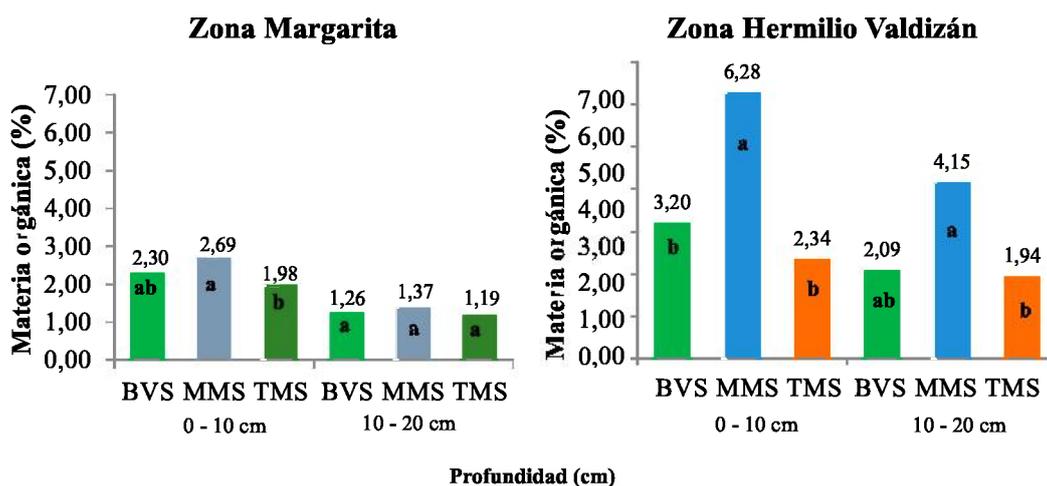


Figura 2. Materia orgánica del suelo (Tukey, $p < 0,05$) en sistemas de manejo de suelos a diferentes profundidades.

- **Fauna del suelo**

Con respecto a la diversidad de fauna encontrada en el suelo en ambas zonas, no existieron diferencias significativas entre los distintos sistemas, y los resultados que se obtuvieron fueron muy parejos en ambas zonas.

- **Respiración microbiana en el suelo**

La respiración microbiana del suelo en la zona de Margarita, de acuerdo a la prueba Tukey (Figura 3), mostró diferencias significativas para el efecto de los sistemas de uso de suelos en cafetales, mostrando el BVS y el MMS un comportamiento similar en la respiración microbiana del suelo, con valores de 0,035 mg CO₂/100 g de suelo, y de 0,031 mg CO₂/100 g de suelo, respectivamente. Sin embargo, sí hubo diferencia de estos con el TMS, que tuvo un valor de 0,016 mg CO₂/100 g de suelo en los primeros 10 cm de profundidad, teniendo un similar comportamiento a la profundidad de 20 cm.

Para la zona de Hermilio Valdizán la respiración microbiana, de acuerdo a la prueba Tukey (Figura 3), mostró igualmente diferencias significativas para el efecto del sistema de uso de suelos en cafetales.

Tanto el BVS como el MMS mostraron similar comportamiento en la respiración microbiana del suelo, con valores de 0,043 mg CO₂/100 g de suelo, y de 0,037 mg CO₂/100 g de suelo, respectivamente. Sin embargo, si hubo diferencia de éstos con el TMS, el cual obtuvo un valor de 0,020 mg CO₂/100g de suelo en los primeros 10 cm de profundidad, teniendo un similar comportamiento a la profundidad de 20 cm.

- **Densidad aparente**

La densidad aparente del suelo, de acuerdo a la prueba Tukey (Figura 4), en la zona Margarita, resultó que el TMS y el BVS no mostraron diferencia significativa para el efecto del uso de los suelos, pero sí ante el MMS, siendo mayor la densidad aparente del TMS y el BVS, con

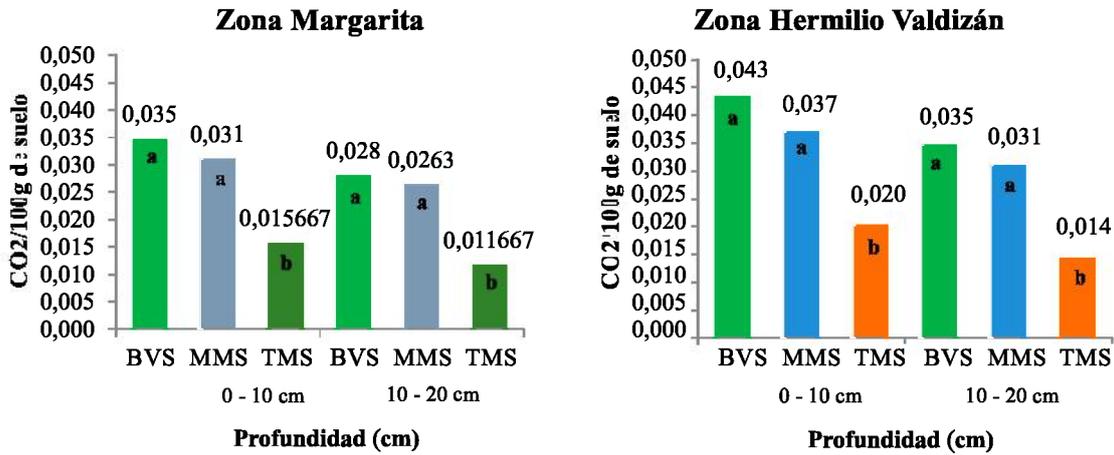


Figura 3. Respiración microbiana a diferentes profundidades de suelo (Tukey, p <0.05) en sistemas de manejo de suelos en Margarita y Hermilio Valdizán.

valores promedios de 1,32 g/cm³ para el TMS, de 1,28 g/cm³ para el BVS, y de 1,21 g/cm³ para el MMS, a la primera profundidad. Este mismo comportamiento se dio de los 10 a los 20 cm de profundidad, pero incrementándose la densidad aparente del suelo con la profundidad.

• **Resistencia del suelo a la penetración**

La resistencia del suelo a la penetración en la zona Margarita, de acuerdo a la prueba Tuckey (Figura 5), el TMS mostró diferencia significativa para el efecto del MMS y

BVS, siendo mayor la resistencia del suelo a la penetración en el TMS con un valor de 2,71 kg/cm², mientras que para el BVS fue de 1,92 kg/cm², y de 1,53 kg/cm² para el MMS. Así, no hubo diferencia estadística a la profundidad de 0 a 10 cm. No obstante, en los 10 a 20 cm de profundidad no existió diferencia significativa para el TMS y MMS, pero sí para el BVS; los valores promedios más altos de la resistencia del suelo a la penetración corresponden al TMS (3,33 kg/cm²), y al MMS (2,80 kg/cm²), resultando en diferencias significativas con respecto al BVS (2,00 kg/cm²).

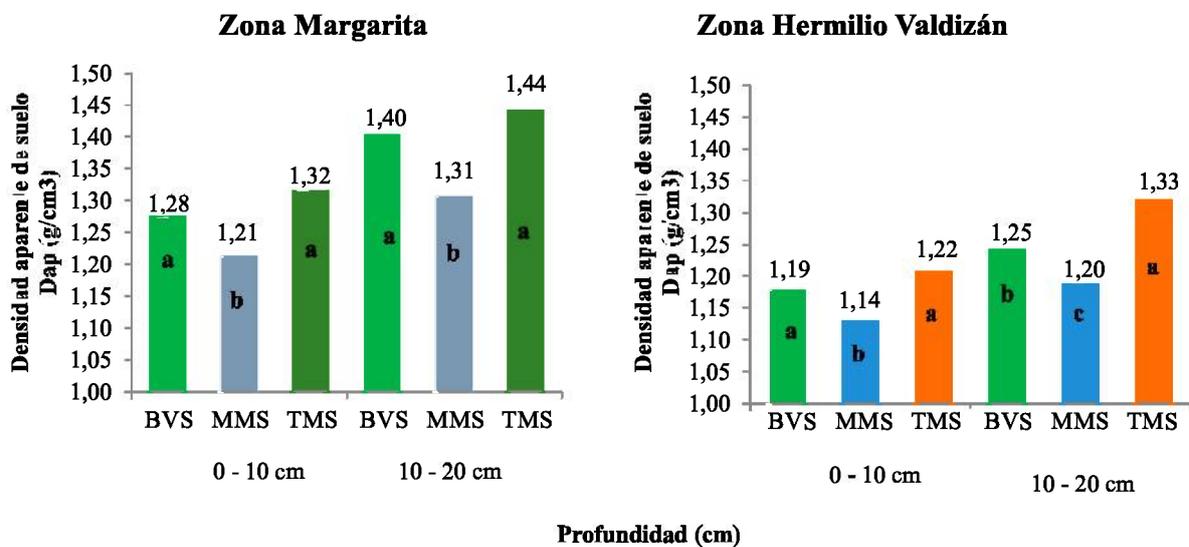


Figura 4. Densidad aparente a diferentes profundidades del suelo (Tukey, p <0.05) en Sistemas de Manejo de suelos.

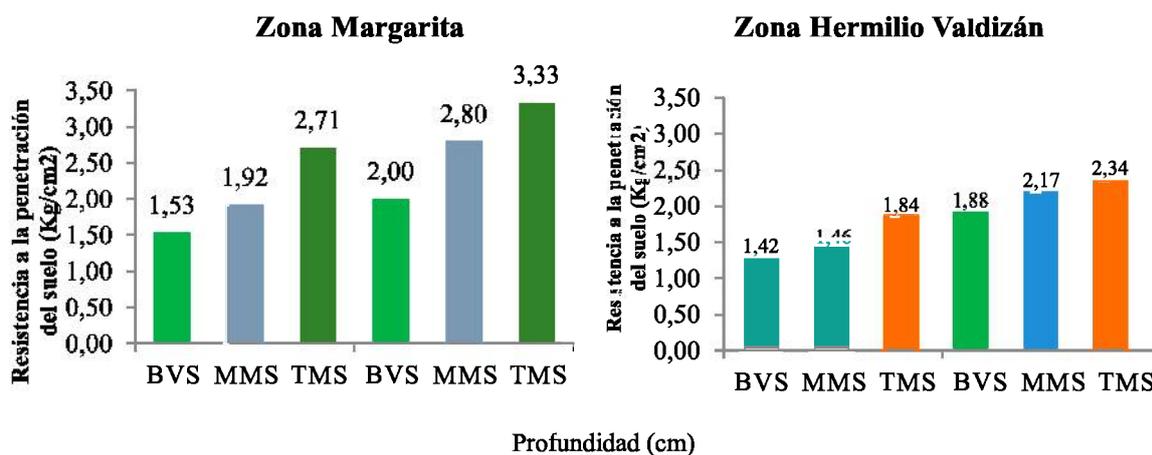


Figura 5. Resistencia del suelo a la penetración en Kg/cm² y diferencias (Test Tukey, p <0,05) en sistemas de manejo de suelo a diferentes profundidades.

Para la zona de Hermilio Valdizán, la resistencia del suelo a la penetración de acuerdo a la prueba Tukey (Figura 5), el TMS mostró diferencias significativas para el efecto del sistema de manejo de suelos respecto al MMS y BVS, siendo mayor la resistencia de suelo a la penetración en el TMS (1,84 kg/cm²), mientras que fue de 1,46 kg/cm² para el BVS, y de 1,42 kg/cm² para el MMS, no existiendo diferencias significativas a la primera profundidad de 0 a 10 cm.

En los 10 a 20 cm de profundidad, el TMS y BVS no mostraron diferencias significativas; sin embargo, los valores promedios más altos de la resistencia del suelo a la penetración se corresponden con el TMS (2,34 kg/cm²) y el MMS (2,17 kg/cm²), diferenciándose significativamente del BVS (1,88 kg/cm²).

- **Inestabilidad estructural del suelo**

Respecto a la inestabilidad estructural del suelo en la zona de Margarita, el TMS y MMS se comportaron similarmente, pero mostraron diferencias significativas con el BVS, siendo mayor la inestabilidad estructural de suelo en el TMS (46,98%) y en el MMS (44,77%); mientras tanto, el BVS obtuvo un valor promedio de 37,99%, a la primera profundidad de 0 a 10 cm. Similarmente en los 10 a 20 cm de profundidad, hubieron diferencias significativas respecto a la inestabilidad estructural del suelo del TMS y MMS respecto al BVS. Los

valores promedios más altos de la inestabilidad estructural son de 49,91% para el TMS, y de 46,92% para el MMS, diferenciándose significativamente del BVS, que obtuvo un valor de 41,44%.

Para la zona de Hermilio Valdizán, la inestabilidad estructural del suelo, de acuerdo a la prueba de Tukey (Figura 6), se evidenciaron diferencias significativas para el efecto del sistema de manejo de suelos. Entre TMS y MMS no se encontraron diferencias significativas de los promedios, pero sí al BVS, mostrando el TMS un valor promedio de 38,99%, 37,65% para el MMS, y de 31,32% para el BVS, a la primera profundidad de 0 a 10 cm.

De manera similar, se comportaron los valores de inestabilidad encontrados en los 10 a 20 cm de profundidad, con un 40,97% para el TMS, y un 39,61% para el MMS; por tanto, sí que existieron diferencias significativas con el BVS significativamente del BVS (31,81%).

- **Relación de la inestabilidad estructural del suelo con la materia orgánica y la respiración microbiana**

La relación entre la inestabilidad estructural del suelo y el porcentaje de materia orgánica presenta una tendencia logarítmica con un R² igual a 0,2581, representada por la siguiente fórmula:

$$y = -6,15\ln(x) + 45,719 \text{ (Figura 7).}$$

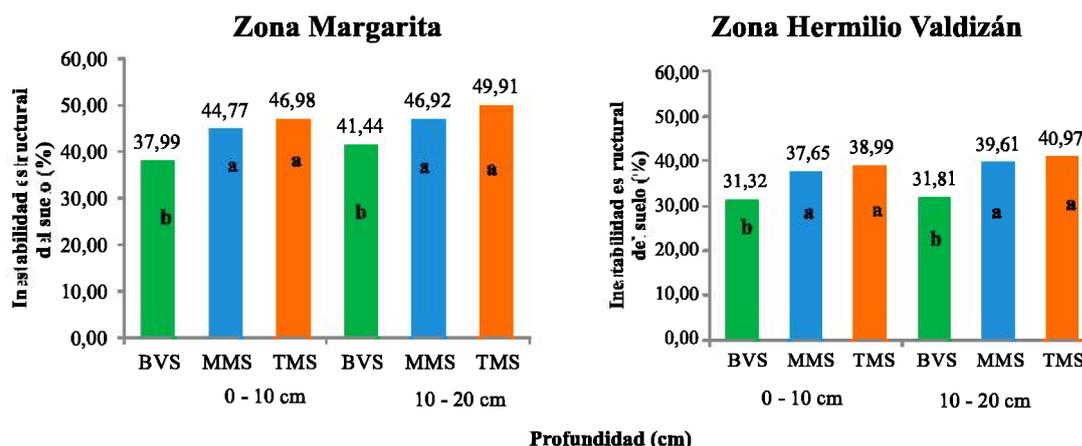


Figura 6. Inestabilidad de agregados estructurales a diferentes profundidades del suelo (p<0,05) en sistemas de manejo de suelos.

La relación entre la inestabilidad estructural del suelo y la respiración microbiana presenta una tendencia polinómica con un R² igual a 0,4734, representada por la siguiente fórmula:

$$y = -9049,2x^2 + 89,344x + 45,937 \text{ (Figura 8).}$$

IV. DISCUSIÓN

Biomasa vegetal

- Biomasa herbácea arbustiva

El carbono obtenido en la biomasa herbácea y arbusti-

va en TMS es mucho mayor que en MMS, esto se debe a que en el sistema de manejo tradicional TMS no se realizan de manera adecuada las prácticas culturales como deshierbo. En el estudio realizado por Quiñe (2008), el aporte de biomasa herbácea y arbustiva en sistemas agroforestales de café en Tarapoto, se encontró, en el fundo Sananguillo, 2,35 T/Ha en comparación con el fundo Juan Bernito que obtuvo 1,89 T/Ha; y es que en el fundo Sananguillo se desarrollan prácticas inadecuadas y mínimo deshierbo.

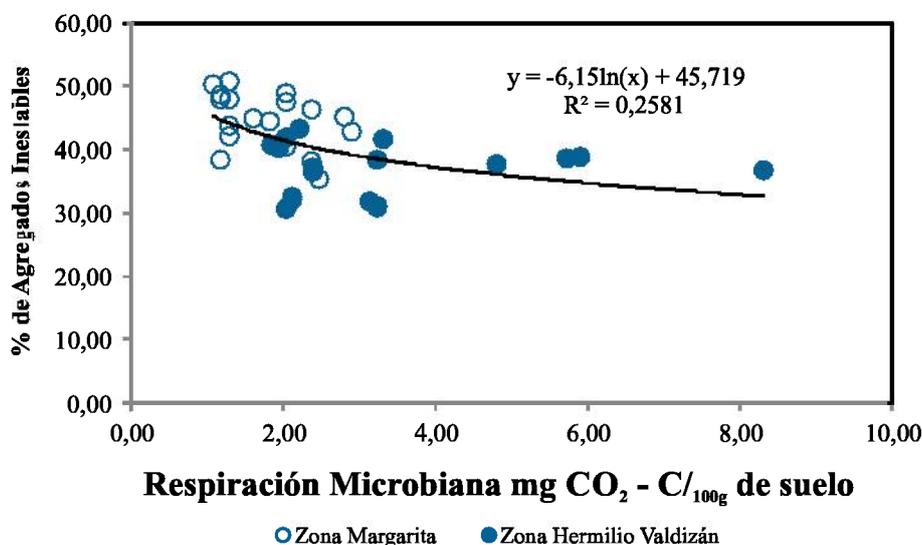


Figura 7. Relación entre el porcentaje de agregados inestables y la materia orgánica en Sistema de Manejo de Suelos en el cultivo de café a diferentes profundidades, en Margarita y Hermilio Valdizán.

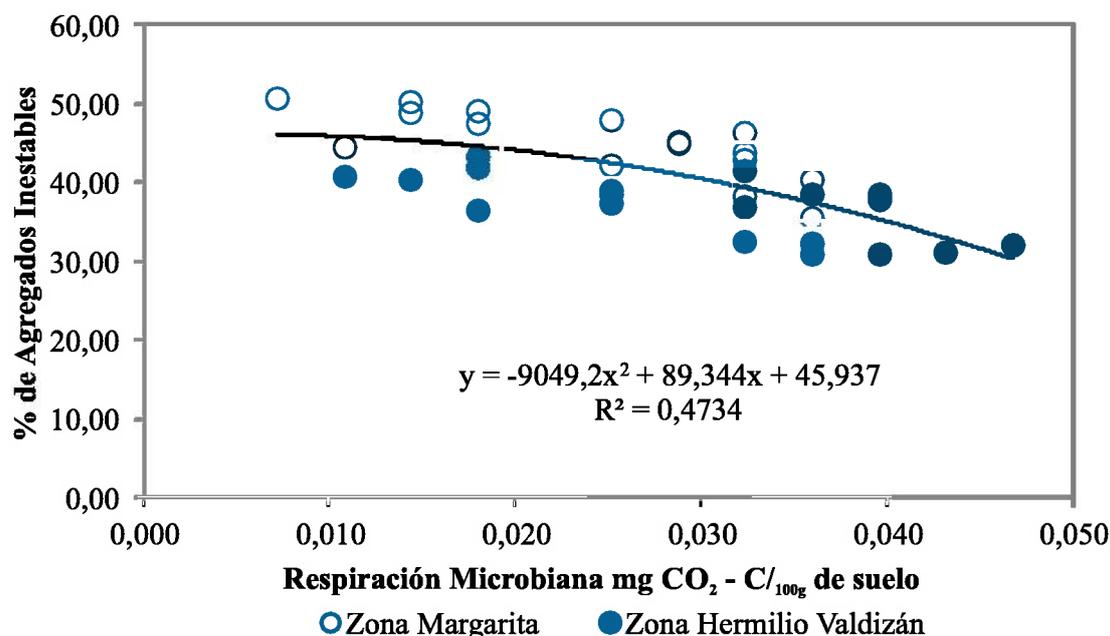


Figura 8. Relación entre los agregados inestables y la respiración microbiana en Sistema de Manejo de Suelos en el cultivo de café a diferentes profundidades, en Margarita y Hermilio Valdizán.

• Biomasa de hojarasca

El carbono obtenido en la hojarasca es mayor en el BVS, respecto a los MMS y TMS. Esto se debe a que en el sistema de manejo de bosque BVS se acumula mayor cantidad de hojarasca y densidad arbórea por hectárea. Contrariamente, el menor contenido de biomasa de hojarasca en el MMS se debe a la menor densidad arbórea por hectárea y a una descomposición más rápida de esta, como consecuencia del aumento de la temperatura combinada con un alto grado de humedad (Quiñe, 2008). También podría deberse al incremento de la actividad microbiológica.

• Materia orgánica del suelo

Los contenidos de materia orgánica, oscilaron entre 1,19% y 4,15%, siendo valores normales en suelos inceptisoles y alfisoles, con la diferencia de que en la zona de Hermilio Valdizán se mostró un valor de 6,28% de MO para el MMS, y un valor medio de 2,69% de MO para MMS de la zona Margarita; es decir, fue superior en ambos casos al BVS y al TMS. Esto se explica por adición permanente de abonos orgánicos como composta durante los dos últimos años además de aportes orgánicos del sombrero al suelo

(Enrique y Sánchez, 2007).

Un sistema de manejo de bosque y un sistema de manejo tradicionales en cacao en San Martín, Perú, respecto al contenido de materia orgánica no mostraron diferencias significativa (Cotrina, 2009). Sin embargo, es necesario mencionar que estos resultados difieren en los sistemas de manejo de cafetales.

• Fauna del suelo

En cuanto a la fauna del suelo, Barrios (2010) realizó un estudio a nivel de mesofauna, encontrando un mayor contenido de especies en un área de 1 ha de muestreo; a continuación, y aplicando el método de Shanon-Weiner para toda la diversidad, tuvo como resultado un 0,98 de promedio. Los resultados obtenidos en esta investigación, entre los 0 y los 10 cm dieron una diversidad promedio de 1,22 y 1,24 en el BVS para las zonas de Margarita y Hermilio Valdizán, siendo en este sistema donde se encuentra la mayor diversidad. Según estos índices probablemente se debe a que se encuentra en un bosque.

• Respiración microbiana en el suelo

La eficiencia microbiana, medida mediante la respiración microbiana, evidenció una disminución de los 10 a los 20 cm de profundidad, como se muestra en los

resultados para ambas zonas; este dato se repite en Geraldés *et al.* (1995). Además, la actividad biológica puede estimarse a través de indicadores que generan información sobre la dinámica de la materia orgánica en el suelo, entre ellos la actividad microbiana y la biomasa microbiana. Estas propiedades permiten estimar la calidad biológica del suelo, por cambios en el manejo agronómico y sufrir cambios frente al estrés ambiental (Sánchez y Gómez, 2000).

Los resultados mostraron una mayor respiración microbiana en suelos bajo sombra (BVS y MMS), guardando relación con el contenido de materia orgánica, y estrechamente ligadas a ciclos de mineralización de la materia orgánica y disponibilidad de nutrientes para las plantas (Enrique y Sánchez, 2007).

- **Densidad aparente**

En la densidad aparente, los valores fluctúan entre 1,0 y 1,7 g/cm³ y aumentan con la profundidad en el perfil (Arshad *et al.*, 1996); estos valores se asemejan al presente estudio. Por otra parte, valores inferiores a 1.0 son característicos de suelos orgánicos (Forsythe, 1985) y se encuentran en los 5 cm de profundidad del suelo. En la compactación y las restricciones al crecimiento de raíces, cuanto mayor es la densidad, menor es el espacio poroso, crecimiento, penetración de raíces, y el desarrollo de plantas (USDA, 1999).

- **Resistencia del suelo a la penetración**

El MMS y el BVS mantienen, hasta en los 10 centímetros de profundidad del suelo y en ambas zonas, una consistencia suave y de poca resistencia al contrario que ocurre en el TMS. Por el contrario, de los 10 a los 20 cm solo el BVS presenta poca resistencia del suelo a la penetración, lo que indica que los sistemas de manejo tradicional (TMS) tienen consistencia dura respecto a los MMS y BVS, y se concluye que la resistencia del suelo a la penetración se incrementa con la profundidad, corroborado por Cotrina (2009).

- **Inestabilidad estructural del suelo**

El menor porcentaje de agregados inestables se debe principalmente al revestimiento de los agregados por

la materia orgánica, la cual evita el efecto degradante del agua. Cuando hay mayor presencia del contenido de materia orgánica del suelo, la actividad microbiana es mayor, y así conducen a la unión de partículas del suelo y consecuentemente a un incremento de la agregación (USDA, 1999).

En TMS presenta el mayor valor de inestabilidad estructural, posiblemente en respuesta al bajo contenido de materia orgánica y a la poca actividad microbiana. A diferencia de un BVS o un MMS que presentan menor inestabilidad por el mayor contenido de materia orgánica del suelo, juntamente a la mayor actividad microbiana del suelo que van actuando con las proteínas como agentes cementantes del suelo.

- **Relación de la inestabilidad estructural del suelo con la materia orgánica y la respiración microbiana**

Los agregados inestables se incrementan cuando disminuye el contenido de materia orgánica en el suelo (Kemper y Koch, 1966; Ferreras *et al.*, 2007). Al extrapolar este dato a nuestro estudio, destaca que en contenidos de materia orgánica superiores a 2% se incrementa apreciablemente la estabilidad estructural del suelo en las zonas de Hermilio Valdizán y Margarita, lo que puede deberse a la presencia de la actividad microbiana en el suelo.

V. CONCLUSIONES

El carbono, en la biomasa herbácea y arbustiva, alcanzó valores superiores en TMS para las zonas de Margarita y Hermilio Valdizán respectivamente, que en MMS y BVS, contrariamente al carbono obtenido en la biomasa de la hojarasca, donde BVS obtuvo los valores más altos en ambas zonas.

La Materia Orgánica en el Suelo (MOS), en los sistemas de manejo de suelos en cafetales, es superior en los primeros 10 centímetros de profundidad, mostrando diferencias significativas entre sistemas de manejo de suelos. El BVS presentó mayor diversidad de clases taxonómicas de macrofauna del suelo en comparación al MMS y TMS; además, la diversidad disminuye al incrementarse la profundidad de suelo.

En cuanto a la actividad respiratoria, la densidad aparente, y la resistencia del suelo a la penetración, en los tres casos fue en el MMS donde se dieron valores superiores en ambas zonas en comparación con los otros dos sistemas. Asimismo, es destacable que la densidad aparente se modifica con la incorporación de materia orgánica al suelo, y se encontró mayor densidad a mayor profundidad.

Por último, cabe mencionar que en este estudio a mayor contenido de materia orgánica y actividad microbiana en el suelo, disminuye la inestabilidad estructural de suelos con cultivos de café en la zona de Divisoria.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, J., L. Arévalo & R. Ricce. *Reservas de carbono con diferentes sistemas de uso de la tierra en dos sitios de la Amazonia Peruana*. Perú: ICRAF/INIA, 2002.
- Altieri, M. A. & C. I. Nicholls. "Conversión agroecológica de sistemas convencionales de producción: teoría, estrategias y evaluación". *Revista Ecosistemas*, Vol. 16, 2007: 3-12.
- Arshad, M. A., B. Lowery & B. Grossman. "Physical test for monitoring soil quality". En *Methods for assesing soil quality*, de Doran J. W. & A. J. Jones, 123-142. Madison: SSSA, 1996.
- Barrios, L. "Efecto del estiércol y el aserrín en la génesis de la estructura del suelo degradado en Tingo María". Informe de Segunda práctica pre profesional de Recursos Naturales Renovables en mención Conservación de Suelos y Agua, Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2010.
- Cotrina, L. "Índice de estabilidad estructural de agregados en suelos ácidos, bajo dos sistemas de uso en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*)". Tesis para optar el título de ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de la Selva, 2009.
- De Aguiar, M. *Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais*. Minas Gerais – Brasil: Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- Díaz-Zorita, M., G. A. Duarte & J. H. Grove. "A review of notill systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina". *Soil Till*, Vol. 65, 2002:1-18.
- Enrique, I. & M. Sanchez. "Relación entre dos sistemas de sombrero de café y algunas propiedades físicas del suelo en la meseta de Popayán". *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol. 2, 2007: 39-43.
- Ferreras, L., G. Magra, P. Besson, E. Kovalevski & F. Garcia. "Indicadores de calidad física en suelos de la región pampeana norte de argentina bajo siembra directa". *Ci. Suelo (Argentina)*, Vol. 25, 2007: 159-172.
- Forsythe, W. *Manual de laboratorio. Física de suelos*. San José, Costa Rica: Instituto interamericano de ciencias agrícolas, 1985.
- Geraldes, A. P., C. C. Cerri & B. J. Feigl. "Biomassa microbiana de solo sob pastagens na Amazonia". *Revista Brasileira de Cientifica do Solo*, Vol. 19, 1995:55-60.
- Gobierno Regional de Huánuco. *Suelos y Capacidad de Uso Mayor Zonificación Ecológica y Económica de la Provincia Leoncio Prado*. Huánuco: Gobierno Regional de Huánuco, 2012.
- Holdridge, L. *Ecología basada en zonas de vida*. San José de Costa Rica: Instituto inter americano de cooperación para la agricultura, 1987.
- Kemper, W.D. & E. J. Koch. *Aggregate stability of soils from Western United States and Canada*. Washington, DC.: Print Office, 1966.
- Nuñez, J. *Manejo y conservación de suelos*. San José de Costa Rica: Asociación de Industria Gráfica Costarricense (ASOINGRAF), 2001.
- Porta, J., M. López & C. Roquero de Laburú. *Edafología Para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Mundi-Prensa, 1999.
- Quiñe, P. "Biomasa y reserva de carbono en sistemas agroforestales de café (*coffea arabica*) en diferentes pisos altitudinales". Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de San Martín, 2008.
- Ramírez, R. & C. I. Salazar. *Cambios de la resistencia a la penetración en un suelo con diferentes*

- sistemas de manejo y su relación con algunas propiedades físicas en un andisol-marinilla la montañita*. Marinilla: El autor, 2005.
- Sadeghian, S., B. Mejía & J. Arcila. "Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia". *Cenicafé*, Vol. 57, 2006: 251-261.
- Sanchez de M. & E. D. Gómez, E.D. *El suelo: Un sistema vivo. Cuaderno ambiental N° 1*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia – Palmira, 2000.
- Sanz, C. G., C. V. Mejía, E. C. García, J. S. A. Torres & E. Y. T. Calderón. *El mercado mundial del café y su impacto en Colombia*. Colombia: Banco de la República, 2012.
- SENAMHI. *Estación Meteorológica La Divisoria, distrito Hermilio Valdizán, Provincia Leoncio Prado – Huánuco*. Perú: SENAMHI, 2013.
- USDA. *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo*. Argentina: Departamento de agricultura de los Estados Unidos, 1999.
- Zarate, R. & T. Mory. *Vegetación, informe temático. Proyecto meso zonificación ecológica y económica para el desarrollo sostenible de la selva de Huánuco*. Iquitos, Perú: IIAP – DEVIDA – MPLP, 2010.