



# Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica

## *Application of organic amendments for the recovery of physical properties of the soil associated to water erosion*

**Diana María Delgado Londoño, MSc.**

*Universidad del Valle*

*Santiago de Cali, Colombia*

[diana.maria.delgado@correounivalle.edu.co](mailto:diana.maria.delgado@correounivalle.edu.co)

(Recibido el 11-04-2016. Aprobado el 10-09-2016, Publicado el 17-01-2017)

**Estilo de Citación de Artículo:**

D. Delgado, "aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica", Lámpsakos, no. 17, pp 77-83, 2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.1907>

### Resumen

Es de gran importancia desarrollar proyectos que permitan identificar y evaluar algunos de los factores que gobiernan el proceso de erosión con un enfoque en la física del suelo, es decir, cuantificar variables como la densidad aparente, densidad real, estabilidad de agregados, humedad y materia orgánica, dentro de estudios que propongan encontrar una aproximación a escala de la estimación de la pérdida de suelo en función de las variables mencionadas, bajo la influencia de enmiendas orgánicas.

Esos proyectos deberían estar encaminados a generar base de datos para futuros estudios en los cuales se generen diseños de simuladores o en general equipos que estudien la interacción del proceso físico del suelo, la precipitación, la escorrentía y la infiltración, además de potencializar los resultados con análisis de las propiedades químicas y biológicas asociadas, experimentando con diferentes variaciones de parámetros como las pendientes, dosis de enmiendas y coberturas vegetales, formulando modelos matemáticos que permitan agrupar los factores considerados importantes en el análisis y generalizarlos para cualquier tipo de condición, o bien para una zona en particular que este presentando problemas de erosión.

**Palabras Claves:** Enmiendas Orgánicas, Erosión Hídrica, Propiedades físicas del Suelo, Recuperación.

### Abstract

It is of great importance to develop projects that identify and evaluate some of the factors which govern the erosion process focussing on soil physics, meaning the quantification of variables such as apparent density, real

density, aggregate stability, humidity and organic matter, in studies that propose to find a scale approach in the estimation of soil loss based on the variables mentioned, under the influence of organic amendments.

These projects should aim to generate database for future studies in which designs or general equipment simulators to study the interaction of the physical process of soil, rainfall, runoff and infiltration are generated in addition to potentiate the results analysis of the chemical and biological properties associated, experimenting with different variations of parameters such as earrings, dose amendments and mulches, formulating mathematical models to group the important factors considered in the analysis and generalize to any conditions or to a particular area who is having problems of erosion.

**Keywords:** Organic amendments Water Erosion, Soil physical properties, recovery.

### 1. INTRODUCCIÓN

Ibañez afirma: "Según los datos del GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation Database) la degradación de tierras se debe en un 48% a procesos de erosión hídrica, que la erosión eólica es responsable del 39% y que a la degradación química y física del suelo (chemical and physical deterioration) corresponden al 10% y 4% respectivamente" [1].

En Colombia de los 49'500,000 de habitantes se estima que el 78% de la población se encuentra localizada en las regiones de ladera y pequeños

valles intramontañosos, debido a factores de orden histórico, socioeconómicos, climático y a la productividad alta de los suelos. La formación de un centímetro de suelo en condiciones naturales, puede tardar entre cien a cuatrocientos años aproximadamente [2], por lo que se considera al mismo como un recurso valioso para la vida del ser humano y su pérdida debida a los diferentes procesos de alteración en las zonas de ladera, es un problema que amenaza fuertemente la base de nuestra alimentación y obliga al ser humano como principal causante, a desarrollar métodos de recuperación o control de este proceso.

Lo anterior ha conducido a que en diferentes países los investigadores en esta área busquen la forma de cuantificar la pérdida de suelo, esto contribuye a predecir niveles tolerables de pérdida de suelo bajo determinadas condiciones climáticas, tipos de suelos, entre otros, lo que facilitaría la selección de prácticas integrales de conservación de suelos y aguas, para diferentes usos del suelo y para su protección, teniendo en cuenta los niveles de finca y cuenca hidrográfica.

En el proceso de erosión hídrica se debería tener en cuenta la interacción del proceso físico químico y biológico del suelo con la física del agua (pluvial), escorrentía e infiltración, con el fin de evaluar y comprender de mejor manera el proceso de la erosión hídrica en un estado de degradación avanzado como lo son las cárcavas, de tal forma que se puedan implementar mecanismos de control asociado a los residuos orgánicos ya que su utilización como enmiendas al suelo puede ser una solución a este problema [3]. Estos mecanismos es importante dirigirlos al hallazgo de parámetros adimensionales como herramientas para asociar las variables involucradas en este fenómeno en una función matemática razonable, es decir que sea aplicable con el uso de Leyes de escala, correctamente definidas y que influyan directamente en el proceso de erosión hídrica.

## 2. LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

La degradación del suelo se considera como toda modificación que conduzca al deterioro del suelo. La FAO afirma que: “La degradación es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. La degradación del suelo es la consecuencia directa del mal uso del suelo por el hombre, resultado de acciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, etc” [4].

Actualmente existe una fuerte tendencia hacia la utilización racional del suelo, basado en principios de Conservación de Suelos, que contribuyen a obtener máximos rendimientos pero con mínima degradación.

FAO, [4] [citado en 5], afirma que: “El cuidado del suelo es esencial para la supervivencia de la raza humana. El suelo produce la mayor parte de los alimentos necesarios para la supervivencia. Sin embargo, en muchas partes del mundo, el suelo ha quedado tan dañado por un manejo abusivo y erróneo que nunca más podrá producir bienes”.

La degradación física del suelo es activada por el decaimiento de las propiedades estructurales, ocasionando problemas como: encostramiento, compactación, baja rata de infiltración, alta rata de escorrentía y erosión acelerada [6] [citado en 7]. La degradación del suelo afecta la productividad de las plantas, lo que restringe las cosechas y los alimentos disponibles.

## 3. LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL SUELO

La erosión hídrica es el proceso por el cual se fraccionan y arrastran las partículas del suelo debido al impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo. Cuando la gota impacta directamente al suelo, la fuerza del impacto fracciona los agregados y los hace propensos a arrastre por la acción de los flujos superficiales de agua (escorrentía) y a la vez causa daño en la estructura superficial del perfil del suelo disminuyendo su capacidad de aportar nutrientes y disminuir el desarrollo de las plantas.

### 3.1 Factores que intervienen en la Erosión Hídrica

Los factores que intervienen son:

**La precipitación:** En la erosión hídrica el proceso de arranque de material se produce por el impacto y salpicadura de las gotas de lluvia, además el transporte de partículas viene dado por los flujos laminares que se crean en superficie.

**El suelo:** La naturaleza de los materiales que lo forman, su textura, profundidad y la permeabilidad del mismo van a determinar el grado de sensibilidad que presenta este frente a la erosión.

**La topografía:** La inclinación y la longitud de la pendiente del terreno juegan un papel fundamental en este proceso, teniendo en cuenta que a mayor inclinación y longitud de pendiente suele existir una mayor erosión.

**La vegetación:** Recubre el terreno actuando disminuyendo la erosión ya que protege y sujeta el suelo, y además frena la escorrentía favoreciendo la sedimentación de las partículas transportadas.

**El uso del suelo:** Es un factor primordial que en la erosión ya que modifica sus condiciones naturales. La erosión depende en buena medida del manejo y del tipo de cultivo implantado.

### 3.2 Aspectos físicos del suelo asociados a la Erosión

Según Montenegro [8], el suelo es el resultado de diversas interacciones dinámicas al igual de componentes orgánicos como inorgánicos. De la integración de todos estos componentes se compone este cuerpo natural, cuya función primordial es la de construir el medio para el desarrollo vegetal.

La pérdida de la calidad física de un suelo se evalúa teniendo en cuenta la alteración de algunas de las más importantes características tales como la densidad, la porosidad, la distribución del tamaño de poros, la estructura (estabilidad de agregados) y el porcentaje de humedad. El comportamiento mecánico de la fase sólida del suelo determina las propiedades físicas del mismo, en las cuales asocian las características químicas y biológicas proporcionando el medio necesario para la vida vegetal; Varios autores han tomado la densidad aparente como una medida de la estructura del suelo, tal es el caso de Amezcua [9]; esta densidad junto con la densidad de las partículas o densidad real permiten calcular la porosidad total, determinar la concentración de los sólidos en suspensión y la velocidad de sedimentación, en la predicción de pérdida de suelo, en análisis mecánicos y conservación de suelo.

La textura está determinada por la proporción relativa de las partículas minerales cuyos diámetros promedio de partículas son inferiores a las arenas, con diámetros entre 20 y 2000 micrómetros, constituyen la fracción gruesa del suelo que le imprime baja capacidad de retención de humedad, drenaje alto, baja retención de nutrientes, baja capacidad de suministro de agua, excesiva aireación, susceptibilidad al encostramiento superficial y la erosión, facilidad de laboreo mecánico. Los limos son partículas cuyos diámetros oscilan entre 2 y 50 micrómetros. Esta fracción presenta mayor dinamismo químico e hidrodinámico que las arenas, pero inferior que las arcillas. Los suelos ricos en limos presentan buenas condiciones en términos generales para la actividad agropecuaria, están asociados con suelos de valles.

La arcilla es la partícula más activa física, química e hidrodinámica de los suelos con diámetros inferior a 2 micrómetros. Los suelos ricos en estas partículas presentan un drenaje deficiente, dificultando el laboreo, generando mayor encharcamiento superficial, retención de agua y nutrientes, contenido de materia orgánica y resistencia a la erosión [10].

La porosidad está asociada con la textura, de la estructura y de la actividad biológica del suelo. La estructuración del suelo por la materia orgánica, los microinvertebrados y los macroinvertebrados, conlleva a la formación de poros, por donde fluye el agua, y el aire. Greenland y Lal [11], realizaron una clasificación de poros por su diámetro y función, él los llamó macroporos, mesoporos y microporos. Los macroporos son los encargados de permitir el flujo del aire y el agua, los mesoporos son los que almacenan el agua y puede ser entendido como el agua aprovechable para las plantas, y los microporos tienen agua fuertemente ligada y difícilmente la aportan a las plantas. Amezcua considera como una buena distribución de poros un rango de 10 a 15% de macroporos, 20 a 25% de mesoporos y entre 10 a 15% los microporos [10]; la porosidad al igual que la textura tienen una relación directa con la humedad la cual se puede analizar bajo dos aspectos diferentes, uno relacionado con la facilidad con que el agua se mueve a través del matriz suelo y el otro se referente a la capacidad de almacenamiento y disponibilidad.

La estabilidad estructural (DMP) es la resistencia de los agregados a disgregarse en condiciones de humedad, definiendo el estado de agregación de las partículas componentes minerales u orgánicas del suelo. Dependiendo de la disposición de sus partículas y de la adhesión de las partículas menores para formar otras mayores o agregados [12] [citado en 13]. La estabilidad de los agregados al agua es una propiedad fundamental para la conservación de la estructura y del suelo mismo. Algunos suelos se deterioran frente a la acción del agua lluvia o de la escorrentía, mientras otras muestran resistencia. La medición de la estabilidad estructural se basa en la mayor o menor resistencia de los agregados a la acción del agua, se puede medir obteniendo el índice de agregación o diámetro ponderado medio DPM, el cual se relaciona con la materia orgánica y con la presencia de óxidos de hierro y aluminio. Particularmente Rivera (1999) muestra cómo la materia orgánica es mayor en los agregados de 1-2 mm y disminuye con el tamaño de los agregados [14]; La materia orgánica como una propiedad física del suelo por tener gran influencia en la agregación de este y por ende en la estabilidad y porosidad del mismo.

Esto es corroborado por Oyedele [15] [citado en 7] en su estudio de algunos suelos tropicales, donde sus resultados demuestran que hay rápidos cambios en la fracción del porcentaje de materia orgánica del suelo bajo un corto periodo de incubación, y tiene un pronunciado efecto positivo en la estructura del suelo.

### 3.3 Materia Orgánica y Enmiendas Orgánicas en el control de la Erosión

La materia orgánica incrementa la habilidad del suelo para resistir todas las formas de degradación y, especialmente, la erosión, debido a diversos efectos como el mantenimiento de una condición estructural que permite la circulación de agua y gases al tiempo que retiene una cantidad considerable de la misma [16] [citado en 13]. El funcionamiento de los suelos y su habilidad para suministrar nutrientes, almacenar agua, liberar gases de invernadero, modificar contaminantes, resistir la degradación física y producir cosechas dentro de un sistema de manejo sostenible están profundamente influenciados por el contenido de materia orgánica [17] [citado en 13].

La materia orgánica estructuralmente activa es responsable de la formación de agregados estables [18] [citado en 13] y por consiguiente de la existencia y mantenimiento de poros grandes [19] [citado en 13]. Aparentemente el efecto positivo de la materia orgánica sobre la agregación es más fuerte si el contenido de arcilla es bajo y viceversa. Sin embargo parece que existen límites críticos en el contenido por encima de los cuales no se debe esperar un incremento en la estabilidad de los agregados [20] [citado en 14].

Abono orgánico es el producto que aporta a las plantas nutrientes procedente de materiales carbonados de origen animal o vegetal. Enmienda orgánica es el producto procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, cuya función es mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar, también, su actividad química o biológica. La enmienda mineral es una sustancia o producto mineral, natural o sintético, el cual no se considera como abono; modifica y mejora las propiedades y las características físicas, químicas, biológicas o mecánicas del suelo.

Las enmiendas ya sean orgánicas o minerales y abonos orgánicos aumentan la temperatura del suelo lo que le permite absorber con mayor facilidad los nutrientes. Mejora a su vez la estructura y textura del suelo haciendo más ligero los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos. También permite mejorar la permeabilidad del suelo ya que influye en

el drenaje y aireación de éste. Aumenta la retención de agua en el suelo y contribuye a mejorar el uso de agua para riego por la mayor absorción del terreno; por último disminuye la erosión ya sea por efectos del agua o del viento [20]. Los productos deben seguir unos tratamientos o procesos de elaboración, como son: el estiércol fresco al igual que los lodos de depuradora están excluidos expresamente y su utilización en la agricultura, como abonos o enmiendas orgánicas, queda sometido a la regulación específica [21].

La utilización de la cobertura vegetal del suelo es una manera más eficiente para detener la erosión del suelo, y detener también su degradación. Para disminuir la erosión, se debe hacer cobertura del suelo con rastrojos y plantas vivas, pero para lograr un resultado óptimo con la cobertura vegetal del suelo, es necesario conocer las especies adaptadas a la región en que se trabaja la tierra. Teniendo en cuenta que:

- La cobertura vegetal del suelo se disminuye la erosión.
- Se logra la conservación del suelo y un aumento de la materia orgánica.
- Mejoramiento de la estructura y calidad del suelo.
- Se obtiene una mayor capacidad de absorción de agua por parte del suelo.
- Se da un mejor aprovechamiento de los nutrientes del suelo y de los abonos químicos por parte de la planta.
- Mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo, por la fijación simbiótica de nitrógeno, cuando son usadas leguminosas.

### 4. ALGUNOS ESTUDIOS RELACIONADOS CON EL TEMA

Acerca del tema existen múltiples perspectivas orientadas a disminuir la degradación del suelo por erosión; la mayoría de los trabajos existentes se apoyan en la incursión de vegetación y residuos de cosecha con obras destinadas al mantenimiento y estabilización de los terrenos, entre ellos se encuentran Álvarez y Santanatoglia [22], quienes describieron la influencia de algunas características edáficas sobre la respiración y la biomasa microbiana, habiendo utilizado para ello un conjunto de suelos a los que se mantuvo bajo condiciones ambientales semejantes durante varios meses. Encontrando que la Respiración y la Biomasa son mayores en los suelos con mayor contenido de materia orgánica, este factor apareció como el más importante en la regulación del medio biológico. También encontraron que la falta de correlación entre la textura y las propiedades biológicas, así como también la alta relación encontrada entre las mismas y el carbono y el nitrógeno pone de

manifiesto la importancia de la materia orgánica como fuente de nutrientes y energía para los microorganismos. Un elevado número de estudios y modelos se han ocupado en los últimos años de establecer las relaciones existentes entre la cubierta vegetal, la actividad microbiana y su efecto en las tasas de erosión, en donde se ha puesto de manifiesto la función que tiene la morfología de las raíces de las plantas para frenar los movimientos en masa y aumentar la estabilidad del suelo, así como su capacidad para mejorar la infiltración y la estructura del mismo [23], [24].

Mbagwu evaluó los efectos de la adición de abonos orgánicos (estiércol de aves de corral) sobre las propiedades físicas de un Ultisol degradado en Nigeria como alternativa de la alta fertilización inorgánica en la zona [25]. Encontró que en comparación con el suelo tratado con fertilizantes inorgánicos, la aplicación de estiércol de aves de corral disminuyó de manera significativa la densidad aparente, aumentó la lámina total de agua disponible y la macroporosidad, la retención de agua, la conductividad hidráulica saturada, la capacidad de infiltración, la infiltración acumulada y el tiempo para llegar a la capacidad de campo. Encontró además que las mejoras en estas propiedades estaban directamente relacionadas con las concentraciones residuales de la materia orgánica del suelo, las cuales representan entre 52 y 77% de la variabilidad de la densidad aparente, 35 y 88% la variabilidad en la retención de agua y la lámina de agua disponible, y entre 56 y 98% la variabilidad en las características.

Dennis et al., evaluaron los efectos de la aplicación de compost de residuos urbanos en las propiedades físicas y químicas de un suelo arenoso del norte de Florida, EE.UU como alternativa de una agricultura más sostenible [26]. Encontraron que el porcentaje de materia orgánica de los residuos sólidos urbanos en abono es alto y su adición al suelo produjo una mejora en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Observaron que el compost proporcionó una forma estabilizada de la materia orgánica, la cual mejoró las propiedades físicas de los suelos por el aumento de nutrientes y capacidad de retención de agua, el espacio total de poros, la estabilidad de agregados, resistencia a la erosión, aislamiento de temperatura y disminución de la densidad aparente del suelo.

Obi y Ebo evaluaron los efectos de los abonos orgánicos (gallinaza) e inorgánicos en las propiedades físicas del suelo y la producción de maíz en un suelo arenoso muy degradado (Ultisol) en el sur de Nigeria, como alternativa a la alta fertilización mineral [27]. Encontraron que la adición

de gallinaza (10 t/ha), ocasionó una disminución significativa de la densidad aparente del suelo, aumento del porcentaje de materia orgánica, la porosidad total, la infiltración del agua en el suelo y la conductividad hidráulica, además mejoró de forma significativa la retención de agua a tensiones bajas de entre 0,1 y 0,33 bar, aumentando la cantidad de agua disponible, determinaron además una alta correlación positiva entre el contenido de materia orgánica del suelo y el agua retenida a una tensión de 0,33 bar ( $r = 0,96$ ) y la capacidad de agua disponible ( $r = 0,96$ ).

FOSU et al. afirman: "Las dinámicas en la mineralización y biomasa microbiana en un suelo franco arenoso clasificado como Ferric lexisol durante la descomposición de cuatro leguminosas, usadas como abono verde: *Mucuna pruriens*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria retusa* y *Calopogonium mucunoides*, se observó un incremento en la biomasa microbiana del 250% durante los primeros 4 días de aplicados los abonos verdes, en comparación con el testigo; que fue explicado como un proceso inicial de inmovilización del carbono por parte de los microorganismos" [28]. MORA, realizó un experimento donde examinó si la producción de dióxido de carbono se reduce entre más alejado del rizoplaneo de la planta esté el volumen de suelo, debido a una menor influencia dinámica rizosférica [29]; encontrando también que la estimación de la actividad microbiana puede constituir un importante indicador de la calidad del suelo, pues ésta se incrementa a medida que crecen las poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos, actuando sobre los substratos orgánicos; es decir, que a la vez es un indicador de la magnitud de las poblaciones y de la calidad de los materiales orgánicos que han ingresado al suelo.

Igualmente, BLANCHART et al., (2006), encontraron que el uso de *Mucuna pruriens* como cobertura intercalada en una plantación de maíz (*Zea mays*), es una buena opción para la conservación del recurso suelo, debido a que su implementación redujo significativamente los valores de pérdida de suelo en un 91 y 69%, en los suelos sometidos a sistemas con labranza tradicional sin fertilización y labranza tradicional con fertilización mineral [30].

García et al. evaluaron los efectos de la fertilización orgánica (compost vegetal) y química (NPK) en las características físicas de un suelo franco en el Valle del río Guadalquivir, España, para establecer el uso de abonos orgánicos como alternativa a la fertilización convencional [31]. Encontraron que el uso de abono orgánico aumentó el carbono orgánico del suelo, la calidad física del suelo y la densidad aparente, en comparación con la aplicación de

fertilizantes minerales, que fue de 1,24 Mg/m<sup>3</sup> para suelos con abono orgánico y 1,36 Mg/m<sup>3</sup> para suelos tratados con fertilizantes minerales. No encontraron diferencias significativas en la retención de agua a capacidad de campo entre los dos sistemas empleados, sin embargo el manejo sostenible como el uso de abonos orgánicos mejoró notablemente las propiedades físicas del suelo, en especial la estabilidad de agregados.

## 5. CONCLUSIONES

Los efectos de la aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo ayudan a mejorar sus propiedades físicas. Además de realizar un mejor manejo de algunos residuos ya sea orgánicos o inorgánicos, generando a su vez algunas veces mejoras económicas.

## REFERENCIAS

- [1] J. J. Ibañez. (2006, ene. 22). "Una introducción a la degradación del suelo por erosión". Madrid. [Internet]. Disponible en <http://www.madrimas.org/blogs/universo/2006/01/22/12450>
- [2] H. Rivera. 2004. Causas y consecuencias de la erosión de suelos de ladera colombiana. 1-15p. Recuperado el 7 de Marzo de 2013 de [http://www.oocities.org/biotropico\\_andino/cap11.pdf](http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap11.pdf)
- [3] R. G. Joergensen, B. Meyer, R. Roden, B. Wittke, "Microbial activity and biomass in mixture treatments of soil and biogenic municipal refuse compost". *Biol. Fertil. Soils*. vol. 23, pp-43-49, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00335817>
- [4] FAO. 1976. Upper Solo watershed management and upland development project, Indonesia Project INS/T2/006, *Termination Field Document No 6, Soil Conservation*, by B.C. John and W. van der Goot. Rome.
- [5] C. Dorroso. "Lección 10. Degradación del suelo". [Internet]. Disponible en <http://www.edafologia.net/conta/tema10/degra.htm>
- [6] Lal et al., "Global soil erosion by water and carbon dynamics". In: R. Lal, J. Kimble, E. Levine and B.A. Stewart (eds) "Soil Management and Greenhouse Effect", Lewis Pub, Boca Raton, FL. 1995. pp. 131-142
- [7] Torres, 2000. Evaluación de la susceptibilidad a la erosión y de las características asociadas (infiltración y escorrentía) de dos suelos de ladera en el departamento del Cauca, mediante un minisimulador de lluvia. Recuperado el 10 de Febrero de 2013, de [http://webpc.ciat.cgiar.org/cabuyal/reports/soil\\_properties/enrique\\_torres/enrique\\_thesis.pdf](http://webpc.ciat.cgiar.org/cabuyal/reports/soil_properties/enrique_torres/enrique_thesis.pdf)
- [8] Montenegro. Propiedades físicas de los suelos, subdirección agrícola IGAC. Bogotá. 1990.
- [9] Amezcua, 1998. Propiedades físicas de los llanos orientales y sus requerimientos de labranza, En: C. G. Romero, Q. D. Aristizabal y S. C. Jarmillo. Memorias encuentro nacional de labranza de conservación, Villavicencio, Meta, Colombia. Recuperado el 27 de Abril de 2013, de [http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e\\_nacionales/propiedades\\_fisicas.pdf](http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e_nacionales/propiedades_fisicas.pdf)
- [10] Madero, Valenzuela, Castro, García, & Osorio, 2013. Ciencia del suelo, Principios básicos. Bogotá.
- [11] Greenland & Lal, 1977. Soil conservation and management in the humid tropics. International Institute of Tropical Agriculture, Agricultural Research Council of Nigeria. Wiley. 283 p.
- [12] Kohnke, 1968. Soil physics. McGraw Hill, New York. 224p.
- [13] E. Madero, I. Valenzuela, H. Castro, A. Garcia, y N. Osorio, 2013. & et al. Ciencia del suelo, Principios básicos. Bogotá. 2013.
- [14] Rivera, 1999. El manejo integrado de arvenses en cafetales aumenta los ingresos y evita la Erosion. Chinchina (Colombia), Cenicafe, 1999.4p. (Avances técnicos CENICAFAE N1259)
- [15] D. J. Oyedele, P. O. Aina, "A study of soil factors in relation to erosion and yield of maize on a Nigerian soil". *Soil Tillage Res.* vol. 48, pp. 115-125. 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00110-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00110-X)
- [16] Lal, Global overview of soil. In: R.S. Baker (ed) "Soil and Water Science: Key to Understanding our global environment", *Soil Sci. Soc. Amer. Special Publication*, no. 41, Madison, WI, pp. 39-51, 1994.
- [17] R. M. Rees, B. C. Ball, C. D. Campbell, C.A. Watson Sustainable management of soil organic matter. CABI Publishing, 440p., 2001. DOI: <https://doi.org/10.1079/9780851994659.0000>
- [18] J. M. Tisdall, J. M. Oades, "Organic matter and water-stable aggregates in soils". *J. Soil Sci.*, vol. 33, pp. 141-163, 1982. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>
- [19] Schachtschabel, et al., 1984. Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart, Alemania, 11a ed. Enke. 442 p.
- [20] B. Mosquera, (2010). *Manual para elaborar y aplicar abonos y plaguicidas orgánicos Redacción y recolección de material*. Recuperado el 17 de Abril de 2013, de [http://www.fonag.org.ec/doc\\_pdf/abonos\\_organicos.pdf](http://www.fonag.org.ec/doc_pdf/abonos_organicos.pdf)

- [21] Técnicoagrícola, *Abonos orgánicos y enmiendas orgánicas*. 2013. Recuperado el Mayo de 2014, de <http://www.tecnicoagricola.es/abonos-organicos-y-enmiendas-organicas/>
- [22] R. Álvarez, y O. J. Santanatoglia, "Actividad biológica y biomasa microbiana en diferentes suelos incubados bajo las mismas condiciones ambientales". Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. vol. 3, pp. 180-184, 1985. Recuperado de [https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_3n1y2/Alvarez.pdf](https://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_3n1y2/Alvarez.pdf)
- [23] Coppin & Richards, *Use of vegetation in civil engineering*. C.I.R.I.A. Burrenworths: London. 1990;
- [24] V. J. Terwilliger y L. J. Waldron. "Assessing the contribution of roots to the strenght of undisturbed, slip prone soils". *Catena*. vol. 17, no. 2. pp. 151-162, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(90\)90005-X](https://doi.org/10.1016/0341-8162(90)90005-X)
- [25] J. S. C Mbagwu, "Improving productivity of a degraded ultisol in Nigeria using organic and maize yield". *Bioresour. Tech.*, vol. 42, no. 2, pp 149-154. 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(92\)90074-8](https://doi.org/10.1016/0960-8524(92)90074-8)
- [26] K. C. Dennis, E. J. Schnack, F. H. Muozo, y C. R: Orona, "Sea level rise and Argentina: potential impacts and consequences". *Journal of Coastal Research SI*, vol 14, pp. 205-223. 1995. Disponile en <http://www.jstor.org/stable/25735709>
- [27] M. E. Obi y P. O. Ebo, 1995. "The effects of organic and inorganic amendments on soil physical properties and maize production in a severely degraded sandy soil in southern Nigeria". *Bioresour. Technol*, vol. 51, pp. 117-123. DOI: [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(94\)00103-8](https://doi.org/10.1016/0960-8524(94)00103-8)
- [28] M. Fosu, R. F. Kuhne, y P. Vlek. "Mineralization microbial biomass dynamics during descomposition of four leguminous residues". *Journal Biological Sciences*. vol. 7, ed. 4, pp. 632-637. 2007. DOI: <https://doi.org/10.3923/jbs.2007.632.637>
- [29] J. Mora, "La actividad microbiana. Un indicador integral de la calidad del suelo". Palmira: Universidad Nacional de Colombia. pp. 1-6. 2006. Disponible en [http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul5\\_6\\_9.pdf](http://lunazul.ucaldas.edu.co/downloads/Lunazul5_6_9.pdf)
- [30] E. Blanchart, C. Villenave, A. Viallatoux, B. Barthés, Girardin, (2006). "Long-term effect of alegume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin". *European Journal Soil Biology*. vol. 42, pp. 136-144. 2013 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.07.018>
- [31] J. García-Ruiz y N. Lana-Renalut, "Hidrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the mediterranean región. A review". *Agriculture, Ecosystems and environment*, vol. 140 pp. 317-338, 2011..DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.003>