



04

04

Fecha de presentación: enero, 2018

Fecha de aceptación: marzo, 2018

Fecha de publicación: abril, 2018

EFFECTO DE RIEGOS PRESURIZADOS SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO BANANERO ASOCIADO CON KUDZU (PUERARIA PHASEOLOIDES BENTH)

EFFECT OF IRRIGATIONS PRESSURIZED ON PHYSICAL PROPERTIES OF A BANANA SOIL ASSOCIATED WITH KUDZU (PUERARIA PHASEOLOIDES BENTH)

Ing. Pablo Ernesto Villa Guerrero¹

E-mail: pvilla_est@utmachala.edu.ec

Dr. C. Julio Enrique Chabla Carrillo¹

E-mail: jchabla@utmachala.edu.ec

MSc. Diego Ricardo Villaseñor Ortiz¹

E-mail: dvillasenor@utmachala.edu.ec

¹ Universidad Técnica de Machala. República del Ecuador.

Cita sugerida (APA, sexta edición)

Villa Guerrero, P. E., Chabla Carrillo, J. E., & Villaseñor Ortiz, D. R. (2018). Efecto de riegos presurizados sobre propiedades físicas de un suelo bananero asociado Con Kudzu (*Pueraria phaseoloides Benth*). *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 34-45. Recuperado de <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>.

RESUMEN

Para evaluar el efecto de los riegos presurizados sobre suelos bananeros se seleccionaron cuatro bloques, uno de ellos influenciado por un sistema de riego subfoliar y otro influenciado por un sistema de riego suprafoliar, completándolo con dos bloques asociados con Kudzu (*Pueraria phaseoloides Benth*) de iguales sistemas de riego. El efecto de los sistemas de riego se evaluó sobre el perfil del suelo en estratos de 10cm hasta los 50 cm de profundidad, determinando en cada estratola densidad real, porcentaje de humedad, densidad aparente, resistencia a la penetración y porcentaje de porosidad, además del índice de estabilidad estructural y el de encostramiento. Los valores obtenidos indican que para ambos sistemas de riego la capa con más influencia fue la 10-20 cm y observándose un menor efecto en los bloques asociados con Kudzu, los cuales no tuvieron índices de formación de costras superficiales.

Palabras clave: Sistemas de riego, porosidad, humedad del suelo, densidad aparente, banano.

ABSTRACT

To evaluate the effect of the irrigations pressurized on banana soils, four blocks were selected, one of them influenced by a sub foliate system of irrigation and the other one influenced by a supra foliate system of irrigation, completing it with two blocks associated with Kudzu (*Pueraria phaseoloides Benth*) of equal systems of irrigation. The effect of the systems of irrigation was evaluated on the profile of the soil in 10 cm strata up to 50 cm deep, determining in every stratum the real thickness, percentage of moisture, apparent density, resistance to the penetration and percentage of porosity, in addition to the index of structural stability and coating. The obtained values indicate that for both irrigation systems the layer with more influence was 10-20 cm and a less effect being observed in the blocks associated with Kudzu, which ones did not have indexes of formation of superficial crusts.

Keywords: Systems of irrigation, porosity, soil moisture, apparent density, banana.

INTRODUCCIÓN

La compactación, es la forma más grave de degradación del suelo, causada por prácticas de labranza convencional (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2000); como es el uso de sistemas de riego presurizados que por sus fuertes precipitaciones e impacto directo en suelos bananeros ha provocado efectos inesperados que han obligado a las raíces del cultivo de banano a limitarse en su crecimiento en el momento que se encuentra con una capa endurecida, que suele ser originada por ciclos de humedecimiento y secado del suelo, además de un calendario laboral muy sobre cargado que genera alguna forma de adensamiento y encostramiento (Becerra, Madero, Herrera & Amézquita, 2005), lo que ha incita al cultivo de banano a emitir raíces laterales; fenómeno que está asociado a un desequilibrio hormonal que afecta al desarrollo foliar del banano conocido como arrepollamiento (Soto, 2008).

Al no tener en cuenta el grado de humedad con que se trabaja el suelo y el efecto degradante de los sistemas de riego cuando los cultivos aún no han cubierto la superficie del suelo (Alfonso, Monedero, Hernández, Somoza & Sánchez Carrasco, 2000) estos, tienden a ser comprimidos por la energía cinética de las gotas del riego que impactan directamente al suelo, las cuales varían entre 5 a 25 J/Kg, siendo los aspersores de impacto los que producen mayor energía; atribuyéndole la elevación de la boquilla respecto al suelo el factor dominante en el aumento de dicha energía (Nin, 2008).

Al provocar un empaquetamiento de las partículas más densas y una disminución de la macro porosidad (Usón, Boixadera, Bosch & Enrique, 2010) la lluvia generadas por el riego provoca una película de agua que infiltra las fracciones texturales comenzando por la arena, limo y por último la arcilla (Becerra, et al., 2005, p. 37) y cuando las partículas más finas, en especial el limo, se movilizan a lo largo del perfil provocan la compactación y la reducción de la oxigenación del suelo (Soto, 2008) que combinado con la intensidad del laboreo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2000) se crea una capa compacta tanto en la superficie del suelo, como a nivel del subsuelo (Lobo & Pulido, 2006)

La capa compacta superficial llamada, encostramiento, costra del suelo o sellado superficial, originada por el número de ciclos y actividades de laboreo que se dan en el cultivo, a más de características propias del suelo como su granulometría, la mineralogía de las arcillas, el contenido de materia orgánica, agentes cementantes o dispersantes como el

Sodio (Na) y Magnesio (Mg), el contenido de agua en el suelo, además de los factores externos como el clima (Lobo & Pulido, 2006; Jaimes, 2011), tiene como característica superficies duras e impermeables (Martínez-Mena, et al., 2001).

La compactación del subsuelo o simplemente llamada compactación, se produce por fuerzas externas ejercidas en suelo superficial (Jaimes, 2011) y es potencialmente la de mayor problema para la productividad agrícola ya que impide la capacidad de aireación e intercambio gaseoso, retención de agua, conductividad hidráulica y resistencia mecánica a la penetración (Lobo & Pulido, 2006). Cálculos estimativos sobre la reducción del rendimiento de las cosechas indican que por causa de la compactación superficial ha llegado a reducirse en un 13%, mientras que por efecto de la compactación del subsuelo se ha producido un descenso de entre un 5 a 35% del rendimiento (Arranz, Galantini, Iglesias, Kruger & Venanzi, 2011).

Por lo tanto, el efecto degradante de los sistemas de riegos presurizados sobre las propiedades físicas del suelo se destinan por la cantidad de la energía cinética que llegue al suelo; pero, si la energía cinética de las gotas caen sobre una cobertura de residuos tiende a disminuir; por acción del contacto con la cobertura, y el agua que pasa y llega al suelo pierde su potencial energético que desintegre los agregados de suelo y separare las partículas finas (Shaxson & Barber, 2005).

Para poder evaluar la cobertura vegetal como amortiguador de los efectos degradante de los sistemas de riego se puede utilizar indicadores como la densidad aparente del suelo, pues puede representar una disminución de la porosidad; la resistencia a la penetración, porque puede haber un aumento de la resistencia mecánica a la penetración por las raíces, todos estos medidos a una humedad estándar (Muñoz, Ferreira, Escalante & López, 2013). En atención a los efectos degenerativos de los riegos sobre las propiedades físicas del suelo, se trató de estudiar y demostrar los efectos de la cobertura vegetal, ante la respuesta de la degradación del suelo, mediante la evaluación del efecto de los riegos presurizados sobre la dinámica de las propiedades físicas de suelos con cobertura vegetal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó entre los meses de mayo a octubre del 2015, en tres predios agrícolas destinados a la producción bananera, ubicados en la parroquia El Cambio, sitio La Unión Colombiana, cantón Machala, provincia de El Oro, ubicados según la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación de los predios.

Predio	Longitud	Latitud
El Cisne	3° 17' 39" S	79° 52' 47" W
La Fátima	3° 17' 44" S	79° 52' 42" W
El Carmen	3° 18' 02" S	79° 51' 58" W

Por su ubicación geográfica los predios comparten iguales condiciones climáticas y ecológicas, obteniendo un índice hídrico sub húmedo, con déficit en época seca acompañado de un régimen térmico cálido, constituido en una zona de vida de un bosque muy seco tropical (b.m.s.T), con isotermas de 25 a 26°C e isoyetas de 500 a 750 mm anuales (República del Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2011; Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2008).

Características del suelo

Los suelos predominantes en los sitios de muestreos de acuerdo a la clasificación de la USDA (2010) son mayoritariamente inceptisoles con texturas medias como: franco, limoso, franco arcilloso, franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso (República del Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2008), de color Café rojizo en húmedo y rojo amarillento en seco, de consistencia pegajosa y plástica, firme en húmedo; estructura granular y de bloques angulares y su manto freático a baja profundidad.

Característica del agua

El agua en los sistemas de riego de acuerdo a el análisis químico del INIAP correspondió una clase C1S1, bajo en contenido de sales y sodio para el predio El Carmen y C2S1, moderado contenido de sales y bajo en sodio para el predio El Cisne y La Fátima.

Factores y niveles de estudio

Fueron estudiados dos factores; un sistemas de riego subfoliar y un sistema de riego suprafoliar, y el estado de la cobertura del suelo como niveles para cada factor, utilizando el kudzu (*Pueraria phaseoloides* Benth) como cobertura vegetal (CCV), y la hojarasca natural emitida por el cultivo de banano, como suelo sin cobertura (SCV); como lo indica la Tabla 2.

Unidad Experimental

Cada unidad experimental estuvo conformada por el radio de humedecimiento (RH) de un emisor subfoliar y otro suprafoliar distribuyendo al azar dentro del RH tres áreas de muestreo por cada emisor, tomando tres emisores para el sistema de riego subfoliar y tres para el suprafoliar.

Diseño experimental

En función de la homogeneidad del suelo en cuanto, consistencia y taxonomía se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial, con tres repeticiones por cada bloque.

Tabla 2. Tratamientos y bloques en estudio.

Combinación	Tratamiento	Producto	Sistema de riego	Predio
T1S1	CCV	Kudzu	Subfoliar	El Cisne
T2S1	SCV	Hojarasca	Subfoliar	La Fátima
T1S2	CCV	Kudzu	Suprafoliar	El Carmen
T2S2	SCV	Hojarasca	Suprafoliar	El Cisne

CCV = Con cobertura vegetal

SCV = Sin cobertura vegetal

Manejo del ensayo

Para todos los bloques de ambos sistemas de riego, el área de muestreo está constituida por el radio de humedecimiento (RH) del emisor. Determinado el RH ya sea por las características técnicas del emisor u observaciones en campo, se marca y se georreferencia el emisor, para luego marcar con estacas las áreas para la respectiva construcción de las calicatas.

Medición y clasificación de las variables

Las muestras fueron recolectadas a capacidad de campo como lo indica Forsythe & Alvarado (2005), para que existan homogeneidad, es decir; posterior al riego.

La recolección de las muestras se realizó en cilindros de hierro galvanizado de volumen conocido; de 5.4 cm de diámetro por 5.0 cm de alto; recolectados en las capas de: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm de profundidad, para lo que se construyó una calicata ubicada al azar dentro del área de humedecimiento de un emisor; realizando escalones de 25 cm de largo por 60 cm de ancho y 10 cm de fondo, con una profundidad total de 60 cm y 150 cm de largo; obteniendo en total cinco escalones dentro de la calicata en la que se toma la muestra con los cilindros (Figura 1), cuyos cilindros fueron sellados con plástico parafinado para evitar las pérdidas de humedad.

Además se recolecto 1 kg de suelo en una funda con su respectiva identificación de la capa y el bloque de procedencia, para evaluar propiedades posteriores del suelo y evitar la falta de material.



Foto 1. Detalles de la calicata, a. Construcción de calicata. B. Toma de muestra para análisis físico del suelo.

Humedad gravimétrica del suelo (%Hs), se obtuvo por secado al horno a 105°C por 48 horas, mediante la relación expresada en porcentaje del peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas, es decir:

$$[1] \quad \theta (\%) = (V_w / V_s) * 100$$

θ (%) = contenido de humedad expresado en (%)

V_w = peso del agua en la masa de suelo (g)

V_s = peso de las partículas sólidas (g)

Densidad aparente del suelo (ρ_a), se la obtuvo mediante el método del cilindro de volumen conocido, mediante la relación de la masa de suelo seco y la del volumen total del cilindro (22.90 cm³) se consiguió la densidad, como lo indica la ecuación:

$$[2] \quad \rho_a = M_s / V_t$$

ρ_a = Densidad aparente (g/cm³)

M_s = Masa de suelo seco (g)

V_t = Volumen total de suelo (cm³)

Densidad real (ρ_s), se la estableció mediante el método del picnómetro con muestras secadas y tamizado a 2 mm; mediante la relación del peso seco de la muestra de suelo y el volumen de los sólidos, como lo indica la ecuación;

$$[3] \quad \rho_s = M_s / V_p$$

ρ_s = Densidad de los sólidos del suelo (g/cm³)

M_s = Masa de suelo seco (g)

V_p = Volumen partículas del suelo (cm³)

Porcentaje de porosidad total del suelo (PT), se la determinó mediante la relación de la densidad

aparente y la densidad real, expresado en porcentajes, como lo indica:

$$[4] \quad E = (1 - \rho_a / \rho_s) * 100$$

E = Porosidad total (%)

ρ_a = Densidad aparente (g/cm³)

ρ_s = Densidad de los sólidos del suelo (g/cm³)

Resistencia a la penetración del suelo (RPS), fue obtenida con un penetrómetro digital modelo Fieldscout SC-900, medida en kilopascales (kpa) en los costados de la calicata, realizando dos lecturas del perfil para promediar la RPS en los intervalos de 5, 15, 25, 35 y 45 cm.

Índice de encostramiento (IE), determinado por el método de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1980), modificado por Comerma, et al. (1992), en el que propone un índice basado en los principales factores que afectan la estabilidad de los agregados, la distribución del tamaño de partículas y a los niveles de materiales cementantes, es decir:

$$[5] \quad IE = (1.125 * L_m) / (Arc + 10 * MO)$$

IE = Índice de encostramiento

L_m = % de Limo (2 - 20 μ m)

Arc = % de arcilla (< 2 μ m)

MO = % de materia orgánica

Índice de estabilidad estructural (IEE), determinado de acuerdo a lo propuesto por Pieri (1995), en el que relaciona el contenido de la materia orgánica y la fracción fina del suelo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$[6] \quad IEE = \% MO / (\% L_m + \% Arc) * 100$$

IEE = Índice de estabilidad estructural

L_m = % de Limo (2 - 20 μ m)

Arc = % de arcilla (< 2 μ m)

MO = % de materia orgánica

Para la obtención del porcentaje de limo y arcilla se utilizó el método del hidrómetro de Bouyoucos, registrando la densidad y la temperatura de la arena a los 40 segundos y la del limo a las dos horas.

El porcentaje de materia orgánica se determinó por ignición a 600 °C, mediante la relación de los pesos.

Análisis multivariado, se analizó mediante correlaciones de Pearson, para definir el comportamiento de las propiedades evaluadas y confirmar la correlación directa o inversa de estas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad gravimétrica del suelo

La recolección de las muestras se realizó en el periodo atípico de lluvias (mayo-octubre), esto se confirma con la distribución del porcentaje de humedad de la capa superficial a la más profunda (10 a 50 cm) las cuales se encontraron próximas o por encima del 22 al 36 % de humedad, que de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (1998), estos rangos constituyen la capacidad de campo de suelos francos limosos.

La tendencia de la humedad en los perfiles de los suelos indica que tiende a disminuir a medida que llega hasta los 30 cm de profundidad, siendo la capa superficial (0-10 cm) la que presenta el mayor porcentaje de humedad (> 25 %).

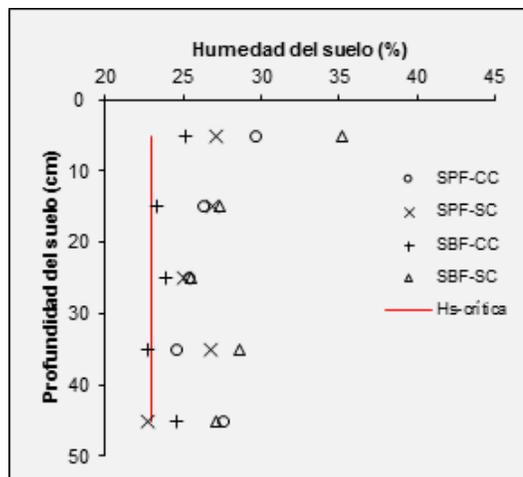


Figura 2. Dinámica de la humedad gravimétrica (%) en perfiles de suelos con incidencia de riegos presurizados, 2016.

La prueba de rangos múltiples de Duncan estableció al porcentaje de humedad en tres grupos homogéneos, siendo el sistema de riego subfoliar sin cobertura vegetal el de mayor porcentaje con 28.75, estadísticamente igual al sistema de riego suprafoliar con cobertura y suprafoliar sin cobertura vegetal, con 26.71 y 25.70 % respectivamente; el sistema de riego subfoliar con cobertura vegetal presentó el porcentaje de humedad más bajo con 23.95 %.

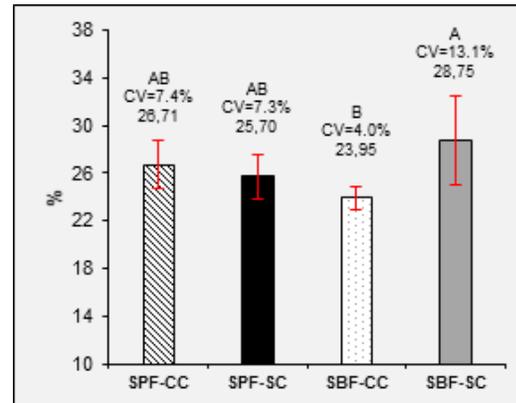


Figura 3. Humedad del suelo (%) en sistemas de riego presurizados, 2016. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Barras verticales en cada columna indican el error estándar de las medias.

Resistencia a la penetración

La dinámica de la resistencia a la penetración del suelo (RPS) es muy variada, teniendo un efecto ascendente a medida que se profundiza el suelo (Figura 3), sobresaliendo la capa de 0-10 cm representando los valores más bajos de RPS en el perfil del suelo para todos los sistemas de riego evaluados; y a partir de la capa de 10 cm hasta los 30 cm se incrementa, llegando a ser variable la RPS entre los 30 a 50 cm de profundidad, atribuyendo a esta última variabilidad, la presencia de texturas finas que lo vuelven más suelto al suelo.

La evaluación de la resistencia a la penetración del suelo (RPS) proyectada en la Figura 3, indica que todos los sistemas de riego evaluados hasta 10 cm de profundidad presentan valores de la RPS menores a 900 kpa, que de acuerdo Zepa, Sosa, Berardi, Bolatti, Galindo & Maldonado (2013), valores por debajo de 900 kpa no son restrictivos para el desarrollo radicular del cultivo.

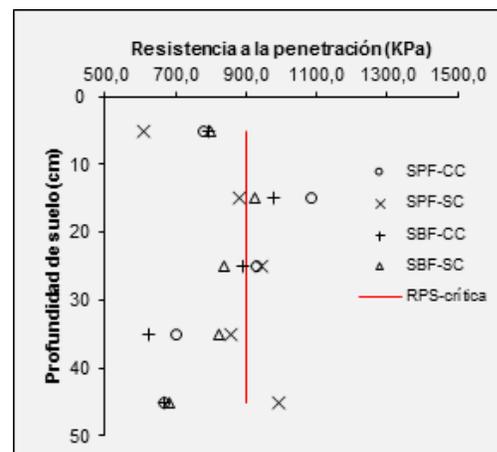


Figura 4. Dinámica de la resistencia a la penetración (kpa) en perfiles de suelos con incidencia de riegos presurizados, 2016.

El análisis de varianza para la resistencia a la penetración del suelo mediante de la prueba de Fisher a un 95.0% de confianza dio un valor de probabilidad de 0.748, valor por encima del 0.05, por lo que se establece que no hubo estadísticamente diferencia entre las medias de la RPS entre los suelos con y sin uso de cobertura, como lo indica la Figura 4.

De acuerdo a la prueba de Duncan se estableció en un solo grupo homogéneo a la RPS, sobresaliendo el sistema de riego subfoliar sin cobertura vegetal con 857.51 kpa a lo largo de su perfil (0-50 cm) al contrario del sistema de riego subfoliar sin cobertura vegetal que presento el valor medio más bajo a lo largo del perfil con 790.58 kpa. Los efectos de la RPS a lo largo del perfil del suelo presentaron valores por debajo de los restrictivos para el desarrollo radicular (< 900 Kpa), indicando que los sistemas de riego con cobertura vegetal dieron los valores más bajos de RPS, indicando que los riegos suprafoliares presentan una mayor RPS que los sistemas subfoliares.

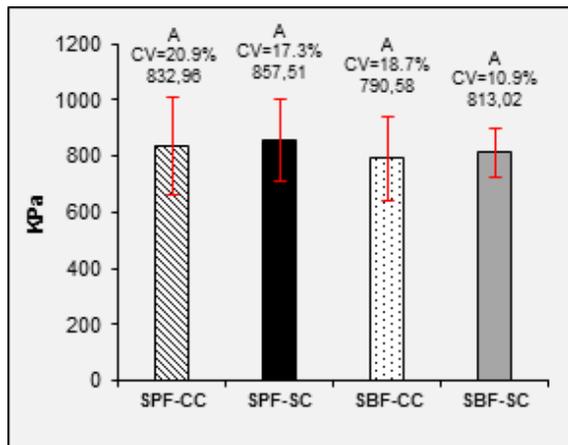


Figura 5. Resistencia a la penetración del suelo (kpa) en sistemas de riego presurizados, 2016. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Barras verticales en cada columna indican el error estándar de las medias.

Densidad aparente

En la Figura 5 aparece la dinámica de la densidad aparente en perfiles de suelos con y sin uso de cobertura vegetal, en el que se observa que en la capa de 0-10 cm la mayoría de los sistemas y tratamientos evaluados están cerca o por debajo del límite crítico de la densidad aparente de 1,40 g/cm³ para suelos franco limosos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2000) a excepción del sistema de riego suprafoliar sin cobertura vegetal el cual supero los límites críticos. Se observa un incremento de la densidad para todos los sistemas y tratamientos evaluados desde superficial hasta los 20 cm y que a partir de esta empieza

a descender el valor de la densidad a medida que profundiza el suelo.

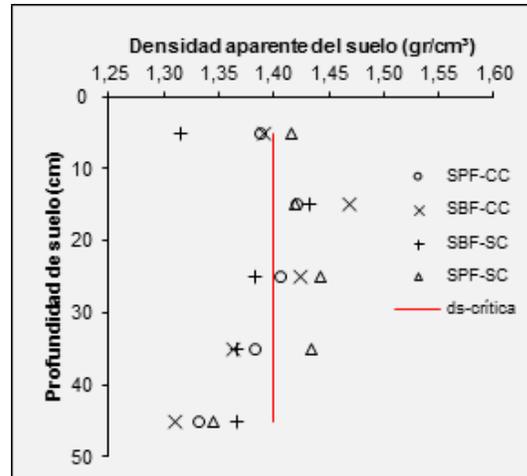


Figura 6. Dinámica de la densidad aparente del suelo (gr/cm³) en perfiles de suelos con incidencia de riegos presurizados, 2016.

El análisis de varianza para la densidad aparente del suelo dio un valor de probabilidad de 0.90, mayor al 0.05 de probabilidad límite, por lo que se establece que no hubo diferencia significativa entre los sistemas de riego evaluados y el tratamiento utilizado.

De acuerdo a la prueba de rangos múltiples de Duncan se obtuvieron valores estadísticamente iguales para todos los sistemas de riego evaluados, destacándose el sistema de riego suprafoliar sin cobertura vegetal con 1.41 g/cm³, seguidos de los sistemas de riego suprafoliar con cobertura vegetal y subfoliar sin cobertura vegetal con 1.39 g/cm³ para ambos sistemas de riego. El valor más bajo de la densidad aparente fue el sistema de riego subfoliar sin cobertura vegetal con 1.37 g/cm³ (Figura 6). El riego suprafoliar con cobertura vegetal presento su pero el límite crítico de la densidad aparente.

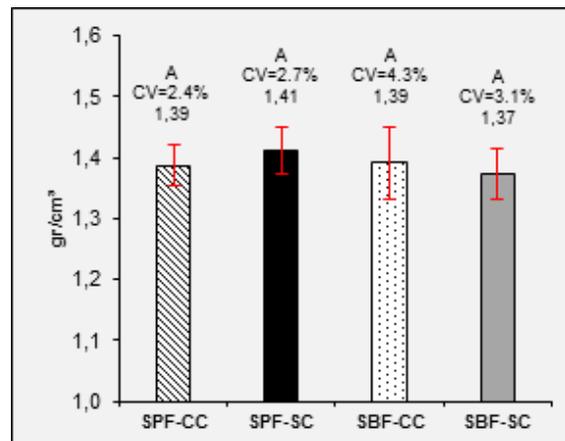


Figura 7. Densidad aparente del suelo (gr/cm³) en sistemas de riego presurizados, 2016. Medias con una letra común no son

significativamente diferentes ($p > 0.05$). Barras verticales en cada columna indican el error estándar de las medias.

Densidad real

En la Figura 7 se valora la distribución de la densidad real del suelo en todo su perfil de muestreo, indicando que la mayoría de los sistemas de riego a excepción del sistema de riego subfoliar con cobertura vegetal, muestran un valor menor al límite crítico de 2.4 g/cm^3 según Cairo (1995), observándose incrementos de la densidad real del suelo a partir de la capa de 10 cm de profundidad hasta los 20 cm; siendo la densidad real variable a lo largo de su perfil a partir de este estrato del suelo.

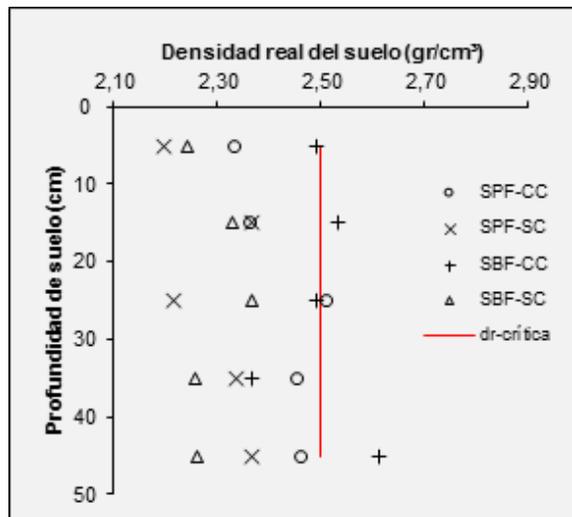


Figura 8. Dinámica de la densidad real del suelo (gr/cm^3) en perfiles de suelos con incidencia de riegos, 2016.

El valor de la probabilidad para los tratamientos en el análisis de la varianza fue de 0.0002, valor por debajo del propuesto de 0.05; por lo que, se estableció diferencia significativa entre el uso o no de cobertura vegetal, considerando la densidad real.

Se establecieron dos grupos dentro de análisis de las medias de la densidad real. En el primer grupo se ubicaron los valores más altos conformados por el sistemas de riego subfoliar con cobertura vegetal, con 2.50 g/cm^3 y el sistema de riego suprafoliar con cobertura vegetal con 2.42 g/cm^3 . Los valores del segundo grupo estadísticamente igual lo conforma el sistema de riego suprafoliar sin cobertura vegetal con 2.30 g/cm^3 y el sistema de riego subfoliar sin cobertura vegetal con 2.29 g/cm^3 . Los valores de densidad real estuvieron por debajo de los límites críticos de esta, siendo lo riegos asociados con cobertura vegetal los de mayor contenido de densidad real (Figura 8).

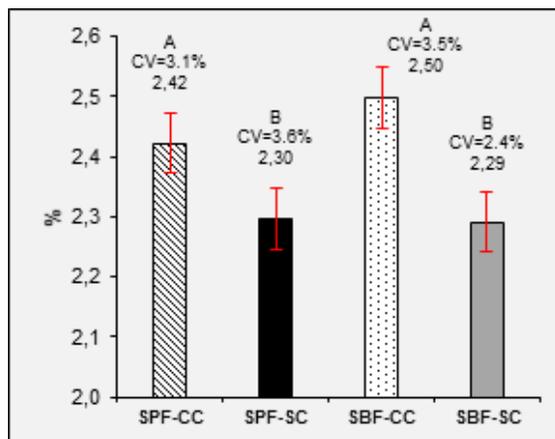


Figura 9. Densidad aparente del suelo (gr/cm^3) en sistemas de riego presurizados, 2016. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Barras verticales en cada columna indican el error estándar de las medias.

Porosidad total

En la Figura 9 se observa la dinámica de la porosidad total del suelo, en la que la capa superior (0-10 cm) se encuentran valores cercanos o por encima del 40 % que la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2000), es el límite crítico de la porosidad, sobresaliendo que el riego suprafoliar sin cobertura vegetal presenta el valor más bajo (Tabla 3) al límite crítico. De la misma manera que la densidad real, en el perfil de los suelos se expresa un incremento de la porosidad y en otros una reducción que va desde el nivel del suelo hasta los 20 cm de profundidad y tiende a disminuir al llegar a los 30 cm y retoma el aumento a partir de los 40 a 50 cm.

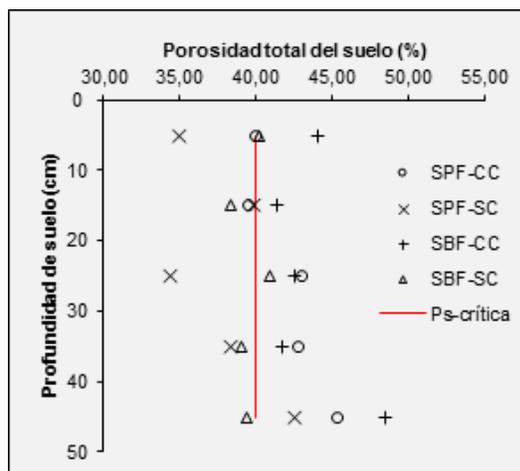


Figura 10. Dinámica de la porosidad total del suelo (%) en perfiles de suelos con incidencia de riegos presurizados, 2016.

El valor de probabilidad de la prueba de Fisher a un nivel del 95.0% de confianza para el porcentaje de porosidad total del suelo fue de 0.0091, menor que 0.05, que consecuentemente indicia a una diferencia estadísticamente significativa entre la media

de la porosidad total del suelo entre el uso o no de coberturas vegetales.

La prueba de rangos múltiples de Duncan estableció cuatro grupos homogéneos al porcentaje de porosidad total del suelo, estableciendo que la porosidad total del suelo tuvo mejor resultado en los sistemas de riego con cobertura vegetal tanto para el subfoliar como el suprafoliar, con un 43.64 y 42.15 % de porosidad total, valores que se encuentran por encima del límite crítico. El porcentaje de porosidad total para el sistema de riego suprafoliar sin cobertura vegetal fue de 38.04 % siendo el de valor más bajo y estadísticamente igual sistema subfoliar sin cobertura vegetal (Figura 10).

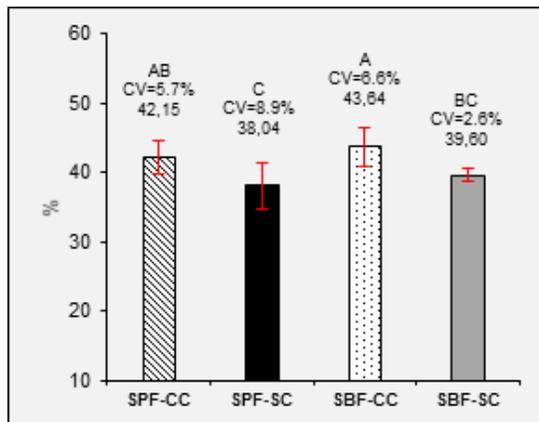


Figura 11. Porosidad total del suelo (gr/cm³) en sistemas de riego presurizados, 2016. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Barras verticales en cada columna indican el error estándar de las medias.

Índice de estabilidad estructural (IEE) e índice de encostramiento (IE)

En la Tabla 3 se indica el índice de estabilidad estructural, que de acuerdo al análisis de varianza el valor de la probabilidad fue mayor al 0.05, por lo que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados lo que evidencia la prueba de Duncan al 95 % de confianza, el cual clasificó al índice de estabilidad estructural en un solo grupo homogéneo, siendo el riego suprafoliar sin cobertura vegetal el que presentó el valor más bajo con 4.38.

El índice de estabilidad estructural en los sistemas de riego evaluados, presentaron valores comprendidos entre 4.38 y 5.70 para SPF-SC y SPF-CC respectivamente y que de acuerdo a Fernández (2014), los valores de IEE inferiores a 5 indican suelos degradados, los valores de IEE entre 5 y 7 indican suelos con alto riesgo a la degradación física por encostramiento o compactación; los valores de IEE entre 7 y 9 indican suelos con moderado riesgo a la degradación y los valores IEE superiores a 9 representan suelos estructuralmente estables; por lo tanto, el riego suprafoliar

sin cobertura vegetal presentó un IEE = 4.38 clasificándose como un suelo degradado estructuralmente, y los demás riegos evaluados estuvieron entre los rangos de 5 a 7 por lo que se calificaron como suelos con alto riesgo de degradación física.

Para establecer la existencia de formación de costras en los suelos evaluados se obtuvo el índice de encostramiento (IE) que según Lobo & Pulido (2006), varía entre valores menores a 1.5 para los suelos que no forman costra y valores mayores a 1.5 para los que están sujetos a una intensa formación de costras. En atención a lo cual, se obtuvo que los riegos con cobertura vegetal obtuvieron valores por debajo de 1.5, de tal forma que no forman costras; por lo contrario de los riegos sin cobertura vegetal que presentaron valores por encima de 1.5 con presencia de formación de costras.

Tabla 3. Índice de encostramiento (I.E) en suelos bananeros con incidencia de riegos presurizados bajo usos de coberturas vegetales.

Riego vs Cobertura	Arzulla (%)	Limo (%)	M.O (%)	IEE	CV (%)	IE	CV (%)
SBF-CC	15.45	34.95	2.33	4.70 a	7.3%	1.04 b	17.5%
SBF-SC	7.58	42.18	1.93	4.86 a	10.6%	1.54 ab	12.9%
SPF-CC	7.83	44.45	3.00	5.70 a	11.4%	1.36 ab	16.7%
SPF-SC	2.45	44.71	1.93	4.38 a	5.2%	1.94 a	14.5%

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

La prueba de Duncan al 95 % de confianza agrupó en tres grupos al índice de encostramiento, en el que el riego suprafoliar sin cobertura vegetal obtuvo el valor más alto con IE=1.94, y el riego subfoliar con cobertura vegetal el más bajo con un IE=1.04, además de un grupo intermedio en el que puede darse casos de formación de costras superficiales con valores de IE = 1.36 y 1.54 para riegos suprafoliales sin cobertura vegetal y subfoliales sin cobertura vegetal (Tabla 3).

Correlación de Pearson

En el sistema de riego suprafoliar con cobertura vegetal se resaltó el alto valor significativo, de la correlación negativa entre la humedad del suelo y la densidad aparente y con la porosidad total con quien presentó una relación positiva; también se obtuvo una relación en sentido directo entre la resistencia a la penetración y la densidad aparente del suelo, e inversa con la porosidad total; al igual que

las relaciones negativas entre la densidad aparente, la porosidad total y porcentaje de limo en el suelo, por al contrario con la arcilla que presenta una relación positiva; además de la relación positiva entre la densidad real y el porcentaje de humedad; además de la relación negativa entre la arcilla y el limo presente en el suelo. El sistema de riego suprafoliar sin cobertura vegetal obtuvo una relación significativa de sentido directo con la porosidad total y el contenido de arcilla, al contrario con la densidad aparente que presentó una relación negativa; la relación negativa entre la densidad aparente y porosidad total, a más de la relación positiva entre la densidad real y la porosidad.

Tabla 4. Correlaciones de Pearson para las propiedades físicas de los suelos.

	Hs	RPS	Da	Dr	Pt	Arc	Lm
SPF-CC	Hs	1.00					
	RPS	-0.03	1.00				
	Da	-0.65**	0.35*	1.00			
	Dr	-0.05	-0.13	0.03	1.00		
	Pt	0.33*	-0.33*	-0.52**	0.82**	1.00	
	Arc	-0.22	0.28	0.52**	-0.01	-0.28	1.00
	Lm	0.25	-0.22	-0.32*	-0.06	0.13	-0.62**
SPF-SC	Hs	1.00					
	RPS	-0.09	1.00				
	Da	-0.41**	-0.06	1.00			
	Dr	0.07	-0.13	0.01	1.00		
	Pt	0.36*	-0.04	-0.76**	0.64**	1.00	
	Arc	0.34*	0.07	-0.27	-0.07	0.16	1.00
	Lm	0.26	0.09	-0.26	-0.15	0.15	-0.19
SBF-CC	Hs	1.00					
	RPS	-0.04	1.00				
	Da	-0.17	0.01	1.00			
	Dr	-0.24	-0.08	0.01	1.00		
	Pt	-0.01	-0.07	-0.49**	0.82**	1.00	
	Arc	-0.17	0.29	-0.02	0.06	0.08	1.00
	Lm	0.05	-0.56**	0.14	-0.15	-0.23	-0.29
SBF-SC	Hs	1.00					
	RPS	-0.02	1.00				
	Da	-0.72*	0.09	1.00			
	Dr	0.02	0.00	-0.01	1.00		
	Pt	0.48**	-0.07	-0.65**	0.74**	1.00	
	Arc	-0.11	0.21	0.21	-0.371*	-0.40*	1.00
	Lm	0.14	-0.27	-0.10	-0.01	0.07	-0.63**

La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Hs= humedad del suelo; RPS=resistencia a la penetración del suelo; Da=densidad aparente; Dr=Densidad real; Pt=Porosidad total; Arc= Arcilla; Lm= limo.

En el sistema de riego subfoliar con cobertura vegetal se presentó una relación positiva de la porosidad total con la densidad real, al contrario que de la relación negativa que obtuvo con la densidad aparente, al igual que la relación negativa entre el contenido de limo y la resistencia a la penetración.

En cuanto a las correlaciones obtenidas para el sistema de riego subfoliar sin cobertura vegetal sobre sale la relación positiva entre la porosidad total, la humedad del suelo y la densidad real, al contrario con la densidad aparente con quien tiene una relación negativa; también existió una relación negativa entre la humedad del suelo y densidad aparente, además de las relaciones negativas de la arcilla con la densidad real, porcentaje de porosidad total y contenido de limo en el suelo.

Los porcentajes de humedad a nivel de la superficie (0-10 cm) presentaron valores por encima del 25 % de humedad en todos los riegos evaluados, sobresaliendo los sistemas de riego con cobertura vegetal basado en que la hojarasca depositada en el suelo por efecto de la cubierta favorece positivamente la retención de humedad (Luna, López & Larios, 2012). La humedad tuvo la tendencia a disminuir hasta una profundidad de 30 cm; y que a partir de esta, se presenta una humedad variable hasta los 50 cm de profundidad (Figura 2). El movimiento de la humedad en el suelo puede ser relacionado por la densidad aparente, disminución del espacio poroso y los cambios texturales (Mogollón, 2012), ya sea por las proporciones de arcilla o bien de arenas que presente el suelo, el agua ocupara total o parcialmente los espacios o poros comprendidos entre las partículas sólidas de la textura (Largaespada & Henríquez, 2015), que inclusive la presencia de altos contenidos de arcillas expansivas (vermiculitas) puede ocasionar grietas, incrementando los valores de movimiento de agua en el suelo (Mogollón, 2012).

(Hossne García, Mayorca Jaime, Salazar Bastardo, Subero Llovera & Zacillo Contreras (2009), obtuvieron valores óptimos de compactación entre 9 y 12 % de humedad gravimétrica, para suelos francos arenosos concluyendo que la máxima compactación ocurre cerca o dentro de la capacidad de campo y por debajo del límite plástico; por lo tanto, los suelos evaluados se encuentran susceptibles a la compactación.

Lo que se evidencia al observar que para cada profundidad, la variabilidad de la RPS es de media a alta. Esto es muy común, pues los efectos del pisoteo por

actividades laborales, el peso de las maquinarias y efectos de los riegos, se distribuyen espacialmente en forma heterogénea. Además, la humedad edáfica durante los momentos en que operan los factores compactantes, la acción de las raíces y otros aspectos tienen también una gran variabilidad dentro de cada compactada (Zerpa, et al., 2013).

Sin embargo la porosidad y la densidad son propiedades que pueden variar de acuerdo a la situación de la actividad e intensidad laboral, siendo indicadores de la mayor o menor compactación que estos promuevan (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2000), lo que se puede afirmar con los suelos con cobertura vegetal los cuales presentaron mayor porcentaje de porosidad (> 40 %), aunque en la dinámica de la porosidad en el perfil del suelo (Figura 9) se observó una reducción en la capa superficial (0-10 cm) para el riego suprafoliar sin cobertura vegetal, en la que el efecto de compactación sobre la porosidad es más severo que a capas más profundas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2000).

En la superficie del suelo se presentan mayores densidades que a 15 cm de profundidad, lo que podría demostrar que la superficie del suelo presenta una compactación diferente a la capa subsuperficial (Henríquez, et al., 2011), lo que puede observar que suelos superficiales (10-20) evaluados con tendencia a disminuir la densidad para los sistemas y tratamientos estudiados, esta alteración de la densidad varía en forma inversamente proporcional a la humedad (Hossne García, 2008), también es común que los valores de densidad aparente aumenten cuando en algún horizonte hay migración de arcilla, tal cual ocurre en horizontes argílicos, en cuyo caso la arcilla se deposita sobre los agregados del suelo reduciendo el espacio de vacíos (Forsythe & Alvarado, 2005).

EL valor de la densidad real se basa a que la materia orgánica posee un peso menor que un volumen igual de sólidos minerales, la cantidad de la densidad real constituyente en un suelo afecta marcadamente a la densidad de partículas, de acuerdo a lo que se obtuvo en las correlaciones en la que el aumento de la arcilla con lleva a la disminución de la densidad real, y si la densidad real disminuye la lo hace de igual manera la porosidad (Tabla 4), como consecuencia, se evidencia que los suelos superficiales poseen generalmente una densidad de partículas más baja que la del subsuelo. La densidad más alta en estas condiciones, suele ser de $2,4\text{g/cm}^3$ (Huerta, 2010).

El índice de estabilidad estructural indicó que suelos en estudio tienden a presentar alto riesgo a la degradación física por encostramiento o compactación, siendo estos los suelos con mayor riesgo a la

degradación física, que limitan el desarrollo agrícola, y que está en función del contenido de materia orgánica, que depende a su vez, del tipo de cobertura o cultivo y de la práctica de manejo (Fernández, 2014), lo que se refleja con el índice de encostramiento en el que los sistemas de riego presurizados sin cobertura vegetal presentaron valores por encima de 1.5 lo que confirma la presencia de costras superficiales, y los sistemas de riego con cobertura presentaron los valores más altos de materia orgánica, y por ende no presentan un índice de formación de costras.

CONCLUSIONES

Los suelos bananeros estudiados presentaron alto riesgo a la degradación física por encostramiento o compactación.

Los suelos bananeros bajo influencia de riegos presurizados tanto con cobertura vegetal y sin esta, alcanzaron valores cercanos o por encima de los límites críticos de las propiedades físicas evaluadas en alguno de sus estratos del suelo.

El uso de la cobertura vegetal en suelos bananeros con incidencia de riegos presurizados no evito el adensamiento de estos.

El uso del Kudzu como cobertura vegetal en el manejo del cultivo de banano con incidencia de riegos presurizados, evita la formación de costras superficiales en el suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso, C. A., Monedero, M., Hernández, S., Somoza, S., & Sánchez Carrasco, L. (2000). Efecto de la compactación del suelo en la producción de frijol. *Agronomía Mesoamericana*, 11(1), 53-57. Recuperado de http://www.mag.go.cr/rev_meso/v11n02_053.pdf
- Arranz, C., Galantini, J., Iglesias, J., Kruger, H., & Venanzi, S. (2011). *Sistemas de labranza: Efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de los poros*. Bahía Blanca: Estación Experimental Agropecuaria Bordenave.
- Becerra, C., Madero, E., Herrera, O., & Amézquita, E., (2005). Caracterización espacial de la compactación en terreno agrícolas de CIAT, Colombia. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, 8(16), 33-37. Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol8_n16/a05.pdf
- Cairo, P., (1995). La Fertilidad Física del suelo y la Agricultura Orgánica en el trópico. Managua: Universidad Nacional Agraria.

- Fernández, L., (2014). Aplicación del índice de estabilidad estructural de Pieri (1995) a suelos montañosos de Venezuela. *Terra nueva etapa*, 30(48), 143-153. Recuperado de http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_ter/article/viewFile/7689/7612
- Forsythe, W., & Alvarado, A. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85-94. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6312831.pdf>
- Henríquez, C., et al. (2011). Determinación de la resistencia a la penetración, al corte tangencial, densidad aparente y temperatura en un suelo cafetalero, Juan Viñas, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 175-184. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/6693>
- Hossne García, A., Mayorca Jaime, Y. N., Salazar Bastardo, L. D., Subero Llovera, F. A., & Zacillo Contreras, A. M. (2009). Humedad compactante y sus implicaciones agrícolas en dos suelos franco arenoso de sabana del estado Monagas, Venezuela. *UDO Agrícola*, 9(4), 937-950. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3394198.pdf>
- Hossne García, A. (2008). La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo. *Terra Latinoamericana*, Julio-Septiembre, 26(3), 195-202. Recuperado de <https://www.chapingo.mx/terra/download.php?file=completo&id=M-jYzMTk1>
- Huerta, H., 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Qro., y su relación con el crecimiento bacteriano. Tesis de pregrado. Santiago de Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Jaimes, A. (2011). *Indicadores ambientales y evaluación de la degradación del recurso suelo*, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Largaespada, K., & Henríquez, C. (2015). Distribución espacial de la humedad y su relación con la textura en el suelo. *Agronomía Costarricense*, 39(3), 137-147. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/21814>
- Lobo, D., & Pulido, M. (2006). Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. *Venesuelos*, 14(1), 22-37. Recuperado de <http://venesuelos.org.ve/index.php/venesuelos/article/view/103>
- Luna, F., López, J., & Larios, R. (2012). Sistemas de manejo en café (Coffe arabica L.) Y su efecto en la fertilidad del suelo y el rendimiento del café oro, Masatepe, Masaya. *La Calera*, 12(18), 29-36. Recuperado de <https://www.lamjol.info/index.php/CALERA/article/view/1122>
- Martínez-Mena, M., Abadía, R., Castillo, V. & Albaladejo, J. (2001). Diseño experimental mediante lluvia simulada para el estudio de los cambios en la erosión del suelo durante la tormenta. *Cuaternario y Geomorfología*, 15(1-2), 31-43. Recuperado de <http://digital.csic.es/handle/10261/16600>
- Mogollón, M. (2012). Comportamiento espacial de la resistencia mecánica de a la penetración y su relación con propiedades físicas del suelo en áreas con diferentes usos y ocupaciones en la Sabana de Bogotá. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Muñoz, D., Ferreira, M., Escalante, I., & López, J. (2013). Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. *Terra Latinoamericana*, 31(3), 201-210. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v31n3/2395-8030-tl-31-03-00201.pdf>
- Nin, R. (2008). *Tecnología del riego por aspersión estacionario. Calibración y validación de un modelo de simulación. Tesis doctoral*. La Mancha: Universidad de Castilla – La Mancha.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Roma: FAO.
- República del Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2008). *Mapa de climas de la República del Ecuador*. Quito: INAMHI.
- Reyes, W. (2010). Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela. *Bioagro*, 22(1), 29-36. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612010000100004
- Salamanca, A., & Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381-397.
- Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo*. Roma: FAO.
- Soto, M. (2008). *Bananos-Técnicas de producción, manejo poscosecha y comercialización*. Segunda ed. San José: Litografía e Imprenta LIL.
- Usón, A., Boixadera, J., Bosch, Á., & Enrique, A. (2010). *Tecnología de suelos: Estudio de casos*. Primera ed. Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza.
- Zerpa, G., Sosa, O., Berardi, J., Bolatti, J., Galindo, A., & Maldonado, J. (2013). La resistencia mecánica a la penetración en pasturas. *Agromensajes*, 35, 64-68. Recuperado de <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/35/12AM35.pdf>