

Nota técnica

EFEECTO DE TRES IMPLEMENTOS DE LABRANZA SOBRE PROPIEDADES FÍSICAS DE UN SUELO ANDISOL EN TIERRA BLANCA, CARTAGO

Silvia Marín-Araya^{1/*}, Mario Villatoro-Sánchez²

Palabras clave: labranza; densidad aparente; porosidad; estabilidad de agregados.

Keywords: tillage; bulk density; porosity; aggregate stability.

Recibido: 24/01/23

Aceptado: 28/03/23

RESUMEN

Introducción. El tipo de implemento y la dirección de la labranza a favor de pendiente han ocasionado que en los suelos hortícolas se presente una importante pérdida de suelo. El problema ha generado una pérdida de los horizontes más productivos y detrimento de las propiedades físicas del suelo. **Objetivo.** Determinar el efecto que ejercen el palín mecánico, la rastra rotativa y el rotador, sobre la densidad aparente, porosidad y estabilidad de agregados de un suelo Andisol bajo 2 ciclos no continuos de cebolla en Tierra Blanca, Cartago. **Materiales y métodos.** Los 3 implementos fueron utilizados en la preparación del suelo para el cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.). Se realizaron evaluaciones en la prelabranza del ciclo 1, al final del primer ciclo de cultivo, en la prelabranza del ciclo 2 y al final del segundo ciclo de cebolla. Se evaluaron las variables de

densidad aparente, porosidad y estabilidad de agregados. **Resultados.** Se encontró que el suelo, durante el estado de barbecho, presentó una densidad aparente relativamente alta, con porosidad y estabilidad de agregados bajas. Con la labranza, disminuyó la densidad aparente, aumentó la porosidad del suelo e incrementó la estabilidad de agregados durante los diferentes momentos de evaluación. **Conclusión.** Los cambios encontrados son una consecuencia de la reorganización de la estructura del suelo, producto de la labranza, cuando se sale de un periodo de barbecho.

ABSTRACT

Effect of three tillage implements on physical properties of an Andisol soil in Tierra Blanca, Cartago. Introduction. Implement type and tillage direction in favor of the slope have

* Autora para correspondencia. Correo electrónico: silvia.marinaraya@ucr.ac.cr

1 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Suelos y Foliares, San José, Costa Rica

 0000-0002-5494-677X.

2 Universidad de Costa Rica, Escuela de Agronomía, Centro de Investigaciones Agronómicas, Laboratorio de Recursos Naturales, San José, Costa Rica

 0000-0002-6678-5854.

caused significant soil loss in horticultural soils. This problem has generated a loss of the most productive horizons and a detriment of the soil's physical properties. **Objective.** To determine the effect of the spader plow, rotary plow and rotavator on bulk density, porosity and aggregate stability in an Andisol soil under 2 non-continuous onion cycles in Tierra Blanca, Cartago. **Materials and methods.** The 3 implements were used in soil preparation for growing onion (*Allium cepa* L.). Evaluations were carried out on the pre-tillage of the first cycle, at the end of the

first cycle, on the pre-tillage of the second cycle and at the end of the second cycle. The evaluated variables were bulk density, porosity and aggregate stability. **Results.** The soil during the fallow state presented a relatively high bulk density, low porosity and low aggregate stability. With tillage, bulk density decreased, porosity increase and aggregate stability improved during the different evaluation moments. **Conclusion.** The changes found are a consequence of the soil's structural reorganization as a product of tillage after a fallow period.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural heterogéneo conformado por las fases sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida, o matriz del suelo, se encuentra conformada por partículas con composiciones químicas y mineralógicas diferentes como los limos, arenas y arcillas (Angst *et al.* 2018). También se presentan, dentro de la fase más fina, sustancias nano cristalinas (Churchman y Lowe *et al.* 2012) y materia orgánica, la cual puede formar complejos catiónicos organominerales (Hillel 2004). Estos tienen superficies eléctricamente cargadas que unen lo componentes mineralógicos para formar microagregados de ~50-250 μm (Banwart *et al.* 2019).

El acomodo de los diferentes agregados del suelo es dependiente de diferentes variables como el contenido de arcilla y carbono orgánico, así como el estado de compactación que presente el suelo (Eden *et al.* 2012). El reacomodo deja espacios abiertos, o poros, de diferentes tamaños y cantidades que son ocupados por las otras 2 fracciones.

La fracción líquida se refiere al agua del suelo y las sustancias disueltas en esta, un conjunto al que se le conoce como la solución del suelo (Hillel 2004). Por su parte, la fracción gaseosa contiene diferentes gases como vapor de agua, oxígeno (O_2) y dióxido de carbono (CO_2) pero con proporciones variables dependientes de

las condiciones de aireación y de profundidad del suelo (Morales-Olmedo *et al.* 2015).

Debido a los procesos formadores del suelo y el manejo de estos, las fracciones pueden variar en proporción y puede generar cambios a nivel de la estructura del suelo (Banwart *et al.* 2019). La evaluación de esta estructura se hace de forma indirecta, mediante diferentes análisis físicos como la densidad aparente, la porosidad y la estabilidad de agregados.

La densidad aparente es la proporción de la masa de sólidos con respecto al peso total del suelo en un volumen determinado (Lark *et al.* 2014). El resultado de este análisis se relaciona con otras propiedades como la porosidad total del suelo, la cual permite conocer el espacio del suelo ocupado por agua o aire (García-Orenes *et al.* 2012). Por su parte, la estabilidad de agregados es un indicador que determina la calidad de un suelo (Wu *et al.* 2017), se refiere a la resistencia que este presenta hacia eventos como escorrentía, viento y golpes de las gotas de lluvia (Deviren Saygın *et al.* 2012).

Estos parámetros son afectados por la labranza y al contenido de humedad en el momento de la toma de muestra, sus determinaciones forman parte de las metodologías tradicionales para dilucidar la estructura y conformación física de un suelo. Los desgastes que se producen a nivel físico por el manejo afectan la estructura del suelo. Se rompen los agregados más grandes y los remanentes son agregados pequeños que

pueden ser fácilmente transportados por agua y viento (Brunel y Seguel 2013).

La pérdida de agregados pequeños hace que se pierdan grandes cantidades de suelo al año, con ritmos de erosión entre 12 y 15 t.ha⁻¹.año⁻¹ (Koirala *et al.* 2019) lo que a su vez también repercute en la profundidad efectiva del suelo.

La labranza más común en las fincas del norte de Cartago se basa en el uso del rotador. Este es un implemento con una capacidad de mezcla del suelo y tiene un uso muy rápido en la preparación del terreno. El rotador mezcla la parte superficial del suelo al punto de romper la estructura como resultado del impacto vibratorio de las aspas que disgregan las partículas del suelo (Pal *et al.* 2016).

El funcionamiento del rotador se produce cuando se acopla a la toma de fuerza del tractor y se genera movimiento en el rotor central. Una serie de cuchillas en forma de 'L', adheridas al rotor central horizontal, y ubicadas en dirección vertical con respecto al suelo, se mueven a medida que el rotor gira (Mandal *et al.* 2013, Behera *et al.* 2021, Kankal *et al.* 2016). Las cuchillas giran a una velocidad mayor a la del desplazamiento del implemento.

Además, la rastra rotativa es un implemento de impacto intermedio, ya que no afecta la estructura del suelo tan agresivamente como el rotador, pero ocasiona una ruptura de los agregados. Dicho implemento realiza varias funciones al mismo tiempo como mover, incorporar y romper los terrones más grandes del suelo. Su funcionamiento principal consiste en facilitar la aireación del suelo al tiempo que promueve agregados más pequeños y sueltos (WIDEMEX 2018).

Tiene una fila de rotores de eje vertical con cuchillas incorporadas donde cada uno de gira en sentido contrario al rotor adyacente. El modelo utilizado contó con un rodillo con barra tubular incorporado en la parte posterior; cuya altura es regulada por una barra niveladora montada sobre este (ALPEGO n.d.).

Por su parte, el palín mecánico es un implemento que tiene bajo impacto sobre la estructura del suelo. Es un apero de labranza primaria muy

versátil que puede utilizarse en diferentes tipos de suelos bajo diferentes grados de humedad, textura o pendiente (Alvarado 2011). Su funcionamiento consiste en un movimiento rotativo de azadas en la misma dirección de avance del implemento, a velocidades bajas relativas, donde cada azada se inserta en el suelo, luego pivotea al frente y arriba, que ocasiona poca ruptura en los agregados (Sarrantonio y Molloy 2003).

El efecto comparativo de cada uno de estos implementos, sobre la densidad aparente, porosidad y estabilidad de agregados, no se ha evaluado previamente. Existe literatura relacionada con el efecto de los implementos por separado, pero no hay evaluaciones de sus efectos en suelos Andisoles.

La labranza presenta afectaciones sobre la estructura de suelos Andisoles y hace que se rompa la barrera física que protege el carbono orgánico del suelo y provoca que este se pierda (Henry *et al.* 2013). A pesar de esto, también se han detectado sumideros de C a medida que este es enterrado por eventos de deposición (Van Oost *et al.* 2007). De igual forma, se ha visto que la labranza intensiva, puede presentar efectos en propiedades físicas, como la densidad aparente, repercutir en afectaciones químicas como cambios en pH y concentraciones de Fe y Mn y afectar las poblaciones y diversidad microbial del suelo (Rahman *et al.* 2008).

El objetivo del trabajo fue determinar el efecto que ejerce el tipo de implemento de labranza sobre diferentes variables físicas, a partir de un suelo en barbecho y bajo 2 ciclos no continuos del cultivo de cebolla. La hipótesis que se mantuvo durante la investigación fue que el palín mecánico presentaría un menor efecto en las tasas de erosión en comparación al rotador, mientras que la rastra rotativa, por su funcionamiento, tendría una afectación intermedia en comparación con los otros 2 implementos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en un terreno dedicado a la producción de cebolla (*Allium cepa*

L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.) ubicado en el distrito de Tierra Blanca, cantón de Cartago, latitud 9°54'20" N y longitud 83°52'24" O, a 1973 msnm. De acuerdo con el mapa de suelos de Costa Rica, los suelos de esta zona son Andisoles con régimen ústico, conocidos como Ustands (Alvarado y Mata 2016), debido a que no presenta horizontes cementados en un 75% de los primeros 100 cm, este suelo se categoriza como un Haplustand (Soil Survey Staff 2022).

La pendiente promedio del terreno fue de 10%, con una textura franco arcillosa, y el contenido de materia orgánica promedio era de 2,9%. La presencia de pedestales pequeños (< 1 mm) demostró un grado de erosión leve. Inicialmente, el suelo presentó una densidad aparente de 1,13 g.cm⁻³ y 52% de porosidad.

Para la descripción del perfil se realizaron 4 puntos de muestreo en la forma de

microcalicatas distanciadas cada 25 m. Cada microcalicata tenía una profundidad aproximada de 50 cm. En los puntos de muestreo se determinaron horizontes de textura franco arcillosa. El tipo de levantamiento de 1^{er} orden (muy detallado) con una escala máxima de 1:5000 (según Cortés Lombana y Malagón Castro 1984) en vista que se realizaron 4 microcalicatas a lo largo de un transecto de la parcela.

Ciclos de cultivo. En el sitio, el cultivo de cebolla se siembra durante el primer semestre de cada año. El primer ciclo (Ciclo 1) de cebolla se comenzó a partir de mayo de 2019, mientras que el segundo ciclo (Ciclo 2) se inició en abril de 2020. Se utilizó la variedad de cebolla Álvara en ambos ciclos de cultivo.

En la Tabla 1 se proporciona el estado de fertilidad del suelo antes de iniciar con el montaje del experimento.

Tabla 1. Resultados de análisis químico completo del suelo previo al establecimiento de los tratamientos, para las bases, capacidad de intercambio catiónico (CICE), porcentaje de saturación de acidez (SA) y contenidos de elementos en mg.L⁻¹ obtenidos mediante la solución extractora KCl-Olsen modificado.

pH	cmol(+).L ⁻¹					SA (%)	mg.L ⁻¹					%		C/N
	Acidez	Ca	Mg	K	CICE		P	Zn	Cu	Fe	Mn	C	N	
5,8	0,1	10,0	2,2	1,3	13,7	0,8	34,0	4,3	24,3	156,7	11,0	2,0	0,2	9,5

Labranza. La labranza que realiza comúnmente el productor consistió en subsolar inicialmente el suelo a 50 cm de profundidad en dirección transversal a la pendiente. El subsolador era de 7 picos, con 320 mm de espaciado entre picos, 1920 mm de largo y un peso de 530 kg; la velocidad de avance fue de 6 km.h⁻¹. Posteriormente se utilizó un arado de disco a favor de pendiente a una velocidad de 10 km/h. Seguidamente se utilizó el rotador, a favor de pendiente, y finalmente se elaboraron los surcos por medio de un arado de vertedera de tipo universal tirado

por un caballo. Toda la labranza, fue realizada con un tractor Lamborghini R3.105, con un peso de 4067 kg y una potencia máxima CV/rpm de 102/2300. El tractor no usaba ningún tipo de lastre en las llantas, taco de tipo R1 y presión de 40 psi.

Dentro de las características de cada implemento, el palín mecánico contaba con 8 azadas individuales, un ancho de trabajo de 2,00 m y un peso de 820 kg (Figura 1), La rastra rotativa tenía un ancho de trabajo de 2,10 cm y traía incorporado un rodillo de jaula de 390 mm de

diámetro para un peso de 730 kg (Figura 2). El rotador tenía un ancho de 2,05 m, con una profundidad máxima de trabajo de 23 cm y peso de 570 kg, este siempre se utilizó con la tapa trasera

cerrada (Figura 3). Ninguno de los implementos contaba con palanca de cambio de velocidades del cigüeñal y fueron utilizados a una velocidad de 6 km/h.



Figura 1. Palín mecánico utilizado en investigación.

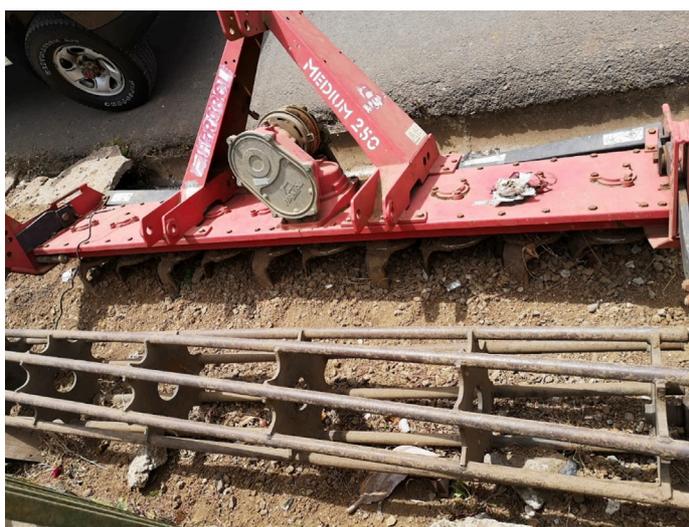


Figura 2. Rastra rotativa utilizada en investigación.



Figura 3. Rotador utilizado en investigación.

El terreno se clasificó con capacidad de uso de las tierras agroecológicas como III e₁ s₂ d₁ c₁. El área total aproximada de la propiedad era de 5450 m² de la cual se aprovecharon 2160 m² aproximadamente para el establecimiento de los tratamientos.

Para el establecimiento del ensayo, se mantuvo el uso del subsolador, el arado de discos y el arado de vertedera de tipo universal para elaborar los surcos. Se definieron 3 tratamientos donde se mantuvo el rotador como el testigo al ser el que utiliza comúnmente el productor. Los

otros 2 tratamientos correspondieron al uso de un palín mecánico y de una rastra rotativa en lugar del rotador. Se establecieron 3 repeticiones distribuidas en bloques al azar en la forma de franjas de 6 m de ancho y perpendiculares a la dirección de la pendiente.

Las muestras fueron recolectadas antes y después de la preparación inicial del terreno y al final del ciclo de cultivo (Tabla 2). Se les realizaron los análisis físicos de densidad aparente, porosidad y estabilidad de agregados de 0 a 10 cm y de 10 a 20 cm de profundidad.

Tabla 2. Fechas de preparación del suelo y toma de muestras.

Ciclo	Actividad	Fecha
1	Preparación del terreno	08/05/2019
1	Toma de muestras iniciales (textura, densidad aparente, porosidad, estabilidad de agregados)	10/05/2019
1	Toma de muestras finales (densidad aparente, porosidad, estabilidad de agregados)	18/09/2019
2	Preparación del terreno	08/05/2020
2	Toma de muestras iniciales (densidad aparente, porosidad, estabilidad de agregados)	08/05/2020
2	Toma de muestras finales (densidad aparente, porosidad, estabilidad de agregados)	28/09/2020

Para la profundidad de 10 a 20 cm no se tienen resultados para estabilidad de agregados del primer momento de prelabranza, debido a que las muestras de suelo fueron secadas en horno convencional (110°C), aunque preferiblemente debieron haber sido secadas al aire.

Todos los análisis se realizaron por triplicado en cada unidad experimental. La metodología de densidad aparente (Grossman y Reinsch 2002) y porosidad (Flint y Flint 2002) fueron realizadas a partir de las metodologías propuestas por la Soil Science Society of America.

Para la estabilidad de agregados se utilizó un equipo de tamizado en húmedo. El equipo tiene 16 cilindros de metal y 8 mini tamices. Cada uno de los cilindros fue pesado y en los tamices se colocaron 4 g del suelo con materia orgánica, luego este se humedeció, sin que quedara saturado.

Se colocó cada uno de los mini tamices en el carrusel del equipo. Primero se utilizó agua desionizada en los cilindros. El carrusel porta tamices funcionó por 3 minutos durante los cuales las muestras eran sumergidas en agua en forma cíclica. Seguidamente se levantó el carrusel del agua y se puso en posición de drenado (Nimmo y Perkins 2002).

Se repitieron los mismos pasos con una solución dispersante de NaOH con movimiento continuo y oscilante durante 5 a 8 minutos. Posteriormente se tomaron los cilindros de metal y se pasaron a secar al horno a 110°C por 24 horas hasta que las soluciones se evaporaran. Se esperó a que los cilindros se enfriaran y se pesaron (el cilindro y los agregados) (Nimmo y Perkins 2002, Le Bissonnais 1996).

Para determinar la fracción de agregados estables se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 1} = \frac{\text{Peso agregados en solución dispersante (g)}}{\text{Peso agregados en agua (g)} + \text{Peso agregados en solución dispersante (g)}}$$

En la Ec. 1 el término “agregados” corresponde a los remanentes de suelo en el tamiz de los ciclos de inmersiones en cada solución que luego fueron secados al horno.

El porcentaje de estabilidad de agregados determinó la vulnerabilidad en que un agregado de suelo pueda descomponerse en partes más pequeñas. Con un porcentaje alto los agregados tienen una mejor estructura y no pueden disgregarse tan fácilmente. Por lo tanto, porcentajes bajos, significan una mayor propensión al rompimiento y la estructura es más susceptible a que sea afectada por eventos externos. Dentro de las propiedades evaluadas, se tomaron muestras para determinar el porcentaje de materia orgánica del suelo. Estos valores fueron obtenidos a partir del porcentaje de C presente en el análisis químico de suelo. El valor se multiplicó por 1,43 (factor de conversión obtenido a partir de validaciones realizadas en el laboratorio de Suelos y Foliars del Centro de Investigaciones Agronómicas (LSF-CIA). Se determinó el contenido de materia orgánica y porcentaje de carbono de 237 muestras por medio de los métodos Walkley - Black y el autoanalizador de carbono/nitrógeno. Se correlacionó el valor obtenido por cada método y se obtuvieron varios valores de pendiente, donde 1,43 fue el valor promedio de estas correlaciones. Posteriormente se multiplicó el porcentaje de C por el valor de correlación promedio y se determinó que el porcentaje de materia orgánica era similar al valor obtenido mediante Walkley - Black. La correlación tenía un valor de pendiente de 1 y un $R^2 = 0,95$ considerando el análisis como satisfactorio) a partir de la base de datos analizados para tener un estimado del contenido de materia orgánica (%).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis fueron evaluados mediante un modelo de regresión lineal generalizada (GLM) en el programa R studio (R Studio Team (2015) R Studio: Integrated Development for R. Boston: R Studio, Inc.) con el paquete “dplyr”. Esto porque no se presenta una distribución normal de los errores dentro de las variables de respuesta y el GLM utiliza variables con respuestas categóricas y se estiman

los parámetros que mejor se ajusten al modelo. Se utilizó un p-value de 0,05.

Estructura del suelo. La estructura del suelo se basa en una conformación de agregados de diferentes tamaños, cuya disposición en el espacio origina pequeños espacios porosos (Banwart *et al.* 2019). En un estado de barbecho, se produce una cimentación de las partículas, al darse un reacomodo por la influencia de factores como raíces y aumentos en el aporte del carbono orgánico del suelo (SOC por sus siglas en inglés) (Kumar *et al.* 2010).

Además, la estructura del suelo pudo verse afectada por eventos como la labranza,

donde un cambio en la misma genera variaciones en las propiedades físicas del suelo. En el caso de los tratamientos, el efecto directo de la labranza ocasionó cambios en la porosidad, densidad aparente y la estabilidad de los agregados del suelo.

Densidad aparente. Al salir del estado de barbecho, la densidad aparente inicial tuvo un promedio de $1,13 \text{ g.cm}^{-3}$ (Figura 4). Esto se debe a un reacomodo del suelo debido a eventos de gravedad, precipitaciones o compactaciones (Nielsen y Calderón 2015), lo que promovió una alta densidad aparente inicial (para ser un Andisol) en la prelabranza del ciclo 1.

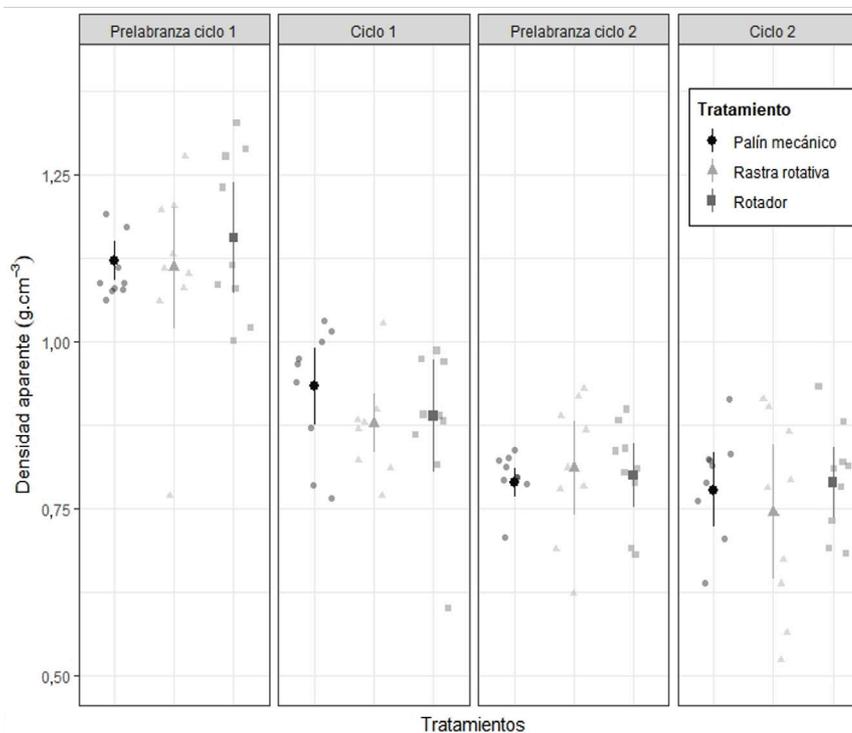


Figura 4. Efecto de diferentes implementos de labranza sobre la densidad aparente del suelo (g.cm^{-3}) en 4 momentos de evaluación.

Al evaluar las diferentes propiedades físicas del suelo se encontraron respuestas del efecto de la labranza, los cuales provocaron una reducción en la densidad aparente a lo largo de los ciclos de cultivo. Para el final del segundo ciclo de cultivo se produjo una estabilización en la densidad aparente con respecto a la prelabranza del mismo, en los tratamientos con palín mecánico y rotador (Figura 4).

No se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los diferentes tipos de labranza en cada momento de evaluación. Las principales diferencias se presentaron al comparar las reducciones en densidad aparente entre momentos de evaluación. En la prelabranza del ciclo 1, se parte de un periodo de barbecho por lo que la alta densidad aparente fue significativamente mayor ($p < 0,05$) en comparación con los demás momentos (Figura 4).

Materia orgánica. Se produjo un incremento en el contenido de materia orgánica a lo largo del tiempo con cada implemento, lo que

significó un efecto positivo por parte de cada uno de los implementos. Con la labranza es posible que se produzca una mezcla de horizontes, sin embargo, las mediciones específicas no fueron realizadas debido a que todas las muestras fueron obtenidas a una única profundidad, lo que dificultó determinar el horizonte del cual procedía la materia orgánica.

En la Tabla 3 se muestran los resultados referentes al contenido porcentual de materia orgánica como respuesta a los diferentes implementos de labranza. No se presentaron diferencias significativas entre los diferentes implementos ($p < 0,05$), aunque sí se evidenciaron diferencias entre los momentos de evaluación en la forma de aumentos en el contenido de materia orgánica. Estos aumentos son importantes debido a que permitieron determinar las tendencias en la disponibilidad de materia orgánica, para el final de cada ciclo de cultivo (momento de evaluación).

Tabla 3. Contenido de materia orgánica del suelo (%) obtenido en 3 momentos de evaluación como respuesta a la labranza con 3 implementos diferentes. Separación de medias realizada mediante LSD Fischer para cada momento de evaluación por implemento de labranza; las letras diferentes implican diferencias significativas.

Tratamiento	Momento	Materia orgánica (%)	Desviación estándar
Palín mecánico	Prelabranza ciclo 1	2,85 a	0,27
	Ciclo 1	3,22 a	0,29
	Ciclo 2	3,36 a	0,14
Rastra rotativa	Prelabranza ciclo 1	2,85 b	0,27
	Ciclo 1	3,32 ab	0,27
	Ciclo 2	3,55 a	0,13
Rotador	Prelabranza ciclo 1	2,85 b	0,27
	Ciclo 1	3,48 a	0,16
	Ciclo 2	3,59 a	0,29

El contenido de materia orgánica fue el más bajo al momento de la prelabranza del terreno. Entre la prelabranza y el final del primer ciclo, el aumento más significativo obtenido fue con el rotador, seguido por la rastra rotativa. Con

el palín mecánico, sin embargo, no se presentaron diferencias significativas y el aumento de materia orgánica fue más constante en el tiempo (Tabla 3), esto demuestra un efecto por parte de los implementos.

El funcionamiento de cada implemento se relaciona con la liberación de materia orgánica detectada en el suelo. El rotador, por su alta capacidad de mezcla, tiene la capacidad de disgregar las partículas del suelo (Pal *et al.* 2016). Esta disgregación sirvió para romper los agregados del suelo que libera la materia orgánica que se encontraba dentro de estos (Banwart *et al.* 2019). Debido al impacto vibratorio de las aspas del rotador se facilita la liberación de la materia orgánica más que el caso de los otros 2 implementos.

La rastra rotativa no afecta la estructura del suelo tan agresivamente como el rotador. Presenta la ventaja que promueve terrones más pequeños y sueltos lo cual favorece una liberación intermedia de la materia orgánica al no romper a profundidad los agregados (WIDEMEX 2018).

El palín mecánico fue el que presentó una liberación más estable de la materia orgánica en el tiempo y entre los implementos fue el que presentó menor porcentaje de materia orgánica en el suelo.

Por el movimiento rotativo a velocidades bajas causa una ruptura relativamente poca de los agregados (Sarrantonio y Molloy 2003), esto favorece que mucha de la materia orgánica permanezca dentro de los agregados.

Para el segundo ciclo de cultivo se había terminado la cosecha de papa y se habían sembrado leguminosas que fueron posteriormente incorporadas al suelo. Esto significó un aporte de materia orgánica para el final del segundo ciclo y justifican el aumento general en los contenidos de materia orgánica para cada uno de los implementos (Tabla 3).

Porosidad. Con la labranza, se rompe la estructura natural del suelo, se separan las partículas sólidas y se incrementa el espacio poroso. Esto explica el aumento general en la porosidad a lo largo de los momentos de evaluación. Se evidenció que la porosidad continúa en aumento hasta la prelabranza del segundo ciclo (Figura 5) donde comienza una reducción en la porosidad general de los suelos con los tratamientos.

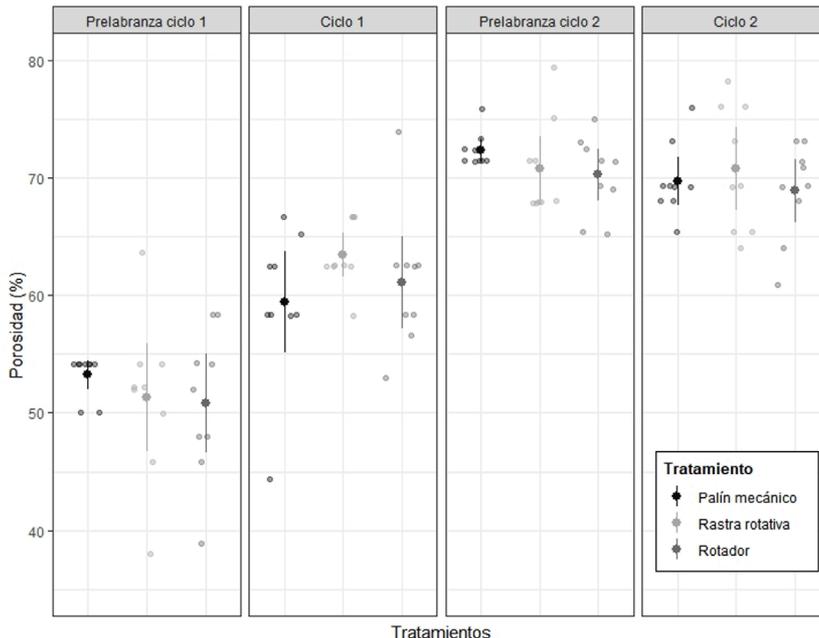


Figura 5. Efecto de diferentes implementos de labranza sobre la porosidad del suelo (%) en 4 momentos de evaluación. Tierra Blanca, Cartago. 2019-2020.

El efecto directo que presenta la labranza sobre la estructura del suelo genera cambios a nivel volumétrico. Estos cambios modifican la distribución del tamaño de los poros y se generan macroporos (Dörner *et al.* 2013). Con un aumento en la porosidad hay un menor volumen de suelo ocupado por partículas sólidas, esto ocasiona una disminución en la densidad aparente, concordante con lo observado en la Figura 4. Esta respuesta es común en suelos que han estado expuestos a labranzas convencionales (con pases de subsoladores, rastras, etc.), donde la densidad aparente tiende a ser menor en comparación con sistemas no disturbados (Lipiec *et al.* 2006).

Al comparar entre tratamientos dentro de un mismo momento de evaluación, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$). Cuando se compara el efecto a lo largo del tiempo se producen diferencias entre las porosidades de cada momento. La porosidad inicial en la prelabranza del ciclo 1 fue la menor dentro de todos los momentos de evaluación con diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto a los demás momentos (Figura 5).

Dentro de los tratamientos, con la rastra rotativa se presentó un aumento lineal en la porosidad el cual comienza a estabilizarse para el final del segundo ciclo, este fue el tratamiento con un mayor aumento en la porosidad del suelo. El palín mecánico comienza con una respuesta más sigmoideal, pero decae para el final del segundo ciclo. El rotador por su parte generó un aumento lineal en la porosidad hasta la prelabranza del segundo ciclo, pero la porosidad disminuyó para el final del segundo ciclo.

Al evaluar el efecto de la labranza, cabe destacar que en la prelabranza del ciclo 2, se reanudó el ciclo de cebolla posterior a un ciclo de papa, pero no se dejó el terreno el tiempo suficiente en barbecho por lo que el suelo no sufrió el reacomodo inicial. Adicionalmente, en el ciclo de papa se utilizó únicamente el rotador para afinar el suelo. Para el final del ciclo 2 se encontró una

reducción en la porosidad para los tratamientos con palín mecánico (3,7%) y rotador (2%).

Hacia el final del segundo ciclo se dio una estabilización en la porosidad del suelo con la rastra rotativa, mientras que el palín mecánico y el rotador presentaron reducciones para este mismo momento (Figura 5). Este evento puede deberse a que el rodillo acoplado en la parte posterior de la rastra rotativa reduce el volumen de los poros y consolida la estructura. El efecto de la compactación aumenta la microporosidad (de Andrade Bonetti *et al.* 2017) lo que justifica que la porosidad se mantuviera constante para los últimos 2 momentos de evaluación (Figura 5).

En el caso del rotador, el efecto directo de las aspas sobre la estructura del suelo ocasiona un alto grado de pulverización por parte del implemento (Safar *et al.* 2011). El palín mecánico, por el contrario, presenta un bajo nivel de volteo del suelo y disturba menos los agregados (Sarrantonio y Molloy 2003).

Estabilidad de agregados. Respecto a la estabilidad de agregados, el efecto de la labranza tampoco presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos debido a la alta dispersión en los datos. Sin embargo, se observó un incremento general en la estabilidad de agregados en ambas profundidades (Figura 6). Al igual que con las variables de porosidad y densidad aparente, la estabilidad de agregados cambia con respecto al momento de evaluación (inicial o final de cada ciclo de cultivo) más que por el efecto del tipo de labranza. Las determinaciones para cada momento de evaluación permitieron conocer los efectos de cada implemento sobre los cambios en la estabilidad de agregados a lo largo del tiempo.

La estabilidad de agregados en prelabranza del ciclo 1 fue significativamente menor ($p < 0,05$) para todos los tratamientos, en comparación con los ciclos 1 y 2 (Figura 6), esto a partir de los resultados del análisis estadístico realizado a partir de un modelo lineal generalizado realizado.

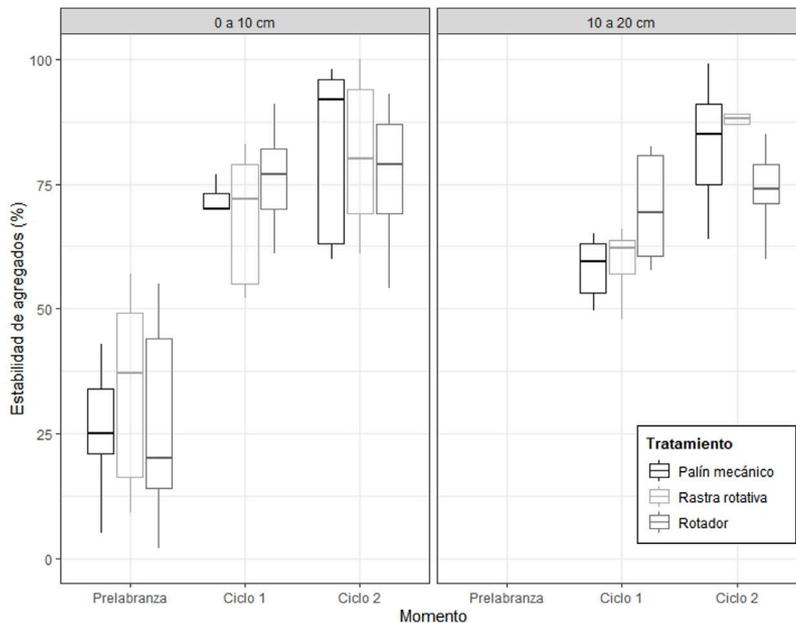


Figura 6. Efecto de diferentes implementos de labranza sobre la estabilidad de agregados obtenidas a partir de muestras de suelo a profundidades de 0 a 10 cm y 10 a 20 cm.

En la profundidad de 0 a 10 cm, el cambio en la estabilidad de agregados fue más constante, al no presentarse aumentos significativos por parte de los tratamientos. A mayor profundidad (10 a 20 cm), se observaron mayores incrementos, especialmente con el palín mecánico y la rastra rotativa (Figura 6).

La estabilidad de los agregados del suelo aumentó como consecuencia de la labranza con los 3 implementos. Como muestran las otras propiedades del suelo, se partió de un estado de barbecho con alta densidad aparente, baja porosidad y baja estabilidad de agregados, pero a medida que se prepara el suelo en los diferentes ciclos de cultivo la estructura se rompe y comienza a cambiar. Adicionalmente se observó un aumento general en la materia orgánica del suelo conforme pasan los momentos de preparación y de cultivo (Tabla 3).

La estabilidad de agregados es una propiedad que puede ser afectada por el contenido de materia orgánica del suelo (Gao *et al.* 2018).

La materia orgánica sirve como una fuente de C y de energía para los microorganismos del suelo, los cuales producen sustancias, que ayudan a la adherencia entre partículas del suelo (Luna *et al.* 2018) por lo que se favorece la formación de los diferentes tamaños de agregados. La labranza podría contribuir a romper agregados grandes de suelo para mejor disponibilidad de la materia orgánica contenida (Banwart *et al.* 2019).

Al aumentar la disponibilidad de C en el suelo, se incrementa la actividad microbiana lo que se asocia también al aumento en la producción de sustancias proteicas que ayudan a la adherencia posterior de los microagregados del suelo (Lado *et al.* 2004, Regelink *et al.* 2015). El efecto destructivo por el alto impacto del rotador contribuyó a una mayor disrupción de los macroagregados (Safar *et al.* 2011) lo que justificaría el aumento significativo para el final del primer ciclo de cultivo. Sin embargo, la rastra rotativa y el palín mecánico al presentar una disrupción menor también afectaron el rompimiento

de la estructura por lo que también se produjo una liberación, aunque más controlada, de la materia orgánica (Camacho *et al.* 2015).

A profundidades mayores, de 10 a 20 cm, no se pudo comparar contra el momento de prelabranza debido a que las muestras fueron todas secadas a 110°C en un horno. Esta metodología afecta propiedades mineralógicas del suelo como las alofanas las cuales forman un gel que se contrae irreversiblemente lo que reduce el área específica de los agregados (Woignier *et al.* 2007). Con las altas temperaturas las arcillas pueden llegar a formar pseudoarenas o pseudolimos que no se dispersan cuando son rehumedecidos (Rahayu *et al.* 2015).

Se presentaron diferencias en la estabilidad de agregados entre ambos ciclos solo con el palín mecánico y la rastra rotativa ($p < 0,05$). Pero para el final del segundo ciclo se presentaron diferencias entre la rastra rotativa y el rotador, al presentar mayor estabilidad de agregados con la rastra rotativa ($p < 0,05$) lo que fortalece la recomendación del uso de la rastra sobre el rotador (Figura 6).

Este efecto se pudo deber al poder vibratorio del rotador donde a mayores profundidades puede ejercer un efecto sobre los agregados (Pal *et al.* 2016). Sin embargo, el efecto de compactación que ejerce la rastra también pudo afectar profundidades mayores a 10 cm por lo que la compactación pudo haber ayudado a mantener la estabilidad de los agregados (ALPEGO n.d.). Por otra parte, la baja perturbación con el palín mecánico mantiene una mayor proporción de macroagregados en el suelo (Sarrantonio y Molloy 2003) que aumentan la estabilidad de agregados detectada.

CONCLUSIONES

Las diferentes variables físicas del suelo evaluadas, mostraron cambios al momento en que se implementó la labranza. A pesar de que se utilizaron 3 implementos diferentes, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí entre los diferentes momentos de los ciclos de cultivo. Cabe destacar que estos momentos en

específico se refieren al inicio del ensayo y al final de cada uno de los ciclos de cultivo. El cambio más significativo para las variables de densidad aparente, porosidad y estabilidad de agregados se presentó entre la prelabranza y el final del primer ciclo de cultivo, con cada uno de los implementos. Esto porque se partió de un periodo de barbecho con un suelo poco disturbado a un suelo con una estructura disturbada como consecuencia de la labranza.

La densidad aparente disminuyó en todos los tratamientos a lo largo de los diferentes momentos de evaluación. La porosidad y la estabilidad de agregados, por el contrario, aumentaron con el tiempo en cada uno de los tratamientos. Adicionalmente, la materia orgánica aumentó ligeramente como resultado de la disrupción de los agregados ocasionada por la labranza.

El efecto de la labranza suele presentarse a lo largo del tiempo a medida que esta afecta la estructura del suelo, sin embargo, no fue posible determinar diferencias significativas entre implementos. En los resultados la densidad aparente se mantiene más constante con el palín mecánico y el rotador a partir de la prelabranza del segundo ciclo, pero la rastra rotativa mantiene una porosidad más constante en estos mismos periodos. La estabilidad de los agregados de 10 a 20 cm la principal diferencia significativa se presentó entre la rastra rotativa y el rotador. A pesar de esto, no se puede especificar un implemento que sea más promisorio.

Para futuras investigaciones sería importante realizar más mediciones en cada momento de evaluación y mantener las evaluaciones durante más ciclos de cultivo. De igual forma, es importante que los ciclos sean seguidos y que estos no presenten ciclos de otros cultivos intercalados.

AGRADECIMIENTOS

Al señor Roberto Aragón Sánchez y al Ing. Agr. Roberto Aragón Soto por la colaboración para hacer posible la ejecución del proyecto y por ayudar con los diferentes implementos.

LITERATURA CITADA

- ALPEGO. n.d. Gama GRADAS ROTATIVAS. s.l., s.e.
- Alvarado, A. 2011. Maquinaria y mecanización agrícola. San José, Costa Rica, EUNED. 612 p.
- Alvarado, A; Mata, R. 2016. Soils of Costa Rica: an agroecological approach. Chapter 4. *In* Kappelle, M (ed.). Costa Rican Ecosystems. Chicago, USA, University of Chicago Press. p. 64-93.
- Angst, G; Messinger, J; Greiner, M; Häusler, W; Hertel, D; Kirfel, K; Kögel-Knabner, I; Leuschner, C; Rethemeyer, J; Mueller, CW. 2018. Soil organic carbon stocks in topsoil and subsoil controlled by parent material, carbon input in the rhizosphere, and microbial-derived compounds. *Soil Biology and Biochemistry* 122:19-30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.03.026>
- Banwart, SA; Nikolaidis, NP; Zhu, YG; Peacock, CL; Sparks, DL. 2019. Soil functions: Connecting earth's critical zone. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 47:333-359. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-063016-020544>
- Behera, A; Raheman, H; Thomas, EV. 2021. A comparative study on tillage performance of rota-cultivator (a passive-active combination tillage implement) with rotavator (an active tillage implement). *Soil & Tillage Research* 207:104861. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104861>
- Brunel, N; Seguel, O. 2013. Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro Sur* 39(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2011.v39n1-01>
- Camacho, ME; Mata, R; Forsythe, W. 2015. Labranza Mecanizada de pasturas mediante tres implementos en un ultisol y sus implicaciones físicas e hidropedológicas (en línea). *Agronomía Costarricense* 39(3):1-16.
- Churchman, GJ; Lowe, DJ. 2012. Alteration, formation, and occurrence of minerals in soils. Florida, USA, CRC Press. p. 1-72.
- Cortés Lombana, A; Malagón Castro, D. 1984. Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Colombia, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 360 p.
- de Andrade Bonetti, J; Anghinoni, I; Tuzzin De Moraes, M; Fink, JR. 2017. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. *Soil & Tillage Research* 174:104-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.06.008>
- Deviren Saygın, S; Cornelis, WM; Erpul, G; Gabriels, D. 2012. Comparison of different aggregate stability approaches for loamy sand soils. *Applied Soil Ecology* 54:1-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.11.012>
- Dörner, J; Dec, D; Sáez, C; Peng, X; Ivelic-Sáez, J; Zúñiga, F; Seguel, O; Horn, R. 2013. Las propiedades de contracción de Andisoles bajo distinto manejo en función de la escala de los agregados. *Agro Sur* 41(1):1-9. DOI: <https://doi.org/10.4206/agrosur.2013.v41n1-01>
- Eden, M; Moldrup, P; Schjønning, P; Scow, KM; De Jonge, LW. 2012. Soil-gas phase transport and structure parameters for a soil under different management regimes and at two moisture levels. *Soil Science* 177(9):527-534. DOI: <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e318267ec85>
- Flint, LE; Flint, AL. 2002. 2.3 Porosity. *In* Dame, JH; Topp, GC (eds.). *Methods of soil analysis, part 4 – physical methods*. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America. p.241-254. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c11>
- Gao, L; Wang, B; Li, S; Wu, H; Wu, X; Liang, G; Gong, D; Zhang, X; Cai, D; Degré, A. 2018. Soil wet aggregate distribution and pore size distribution under different tillage systems after 16 years in the Loess Plateau of China. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.043>
- García-Orenes, F; Roldán, A; Mataix-Solera, J; Cerdà, A; Campoy, M; Arcenegui, V; Caravaca, F. 2012. Soil structural stability and erosion rates influenced by agricultural management practices in a semi-arid Mediterranean agro-ecosystem. *Soil Use and Management* 28(4):571-579. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00451.x>
- Grossman, RB; Reinsch, TG. 2002. 2.4 Particle-size analysis. *In* Dame, JH; Topp, GC (eds.). *Methods of soil analysis, part 4 – physical methods*. Madison, Wisconsin, USA, Soil Science Society of America. p. 201-228. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c9>
- Henry, A; Mabit, L; Jaramillo, RE; Cartagena, Y; Lynch, JP. 2013. Land use effects on erosion and carbon storage of the Río Chimbo watershed. *Plant Soil* (367):477-491.
- Hillel, D. 2004. *Introduction to environmental soil physics*. San Diego, Elsevier Science. 494 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kankal, US; Karale, DS; Thakare, SH; Khambalkar, VP. 2016. Performance evaluation of tractor operated. *International Journal of Agriculture* 6(1):137-146.
- Koirala, P; Thakuri, S; Joshi, S; Chauhan, R. 2019. Estimation of soil erosion in Nepal using a RUSLE Modeling and Geospatial Tool. *Geosciences* 9(4):147. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences9040147>
- Kumar, S; Udawatta, RP; Anderson, SH. 2010. Root length density and carbon content of agroforestry and grass buffers under grazed pasture systems in a Hapludalf (en línea). *Agroforestry Systems* 80:85-96. Consultado 12 Sep. 2020. Disponible en <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10457-010-9312-0.pdf>

- Lado, M; Paz, A; Ben-Hur, M. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. *Soil Science Society of America Journal* 68(3):935. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.9350>
- Lark, RM; Rawlins, BG; Robinson, DA; Lebron, I; Tye, AM. 2014. Implications of short-range spatial variation of soil bulk density for adequate field-sampling protocols: Methodology and results from two contrasting soils. *European Journal of Soil Science* 65(6):803-814. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.12178>
- Le Bissonnais, YL. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47(4): 425-437.
- Lipiec, J; Kuś, J; Słowińska-Jurkiewicz, A; Nosalewicz, A. 2006. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil and Tillage Research* 89(2):210-220. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.07.012>
- Luna, L; Vignozzi, N; Miralles, I; Solé-Benet, A. 2018. Organic amendments and mulches modify soil porosity and infiltration in semiarid mine soils. *Land degradation and Development* 29(4):1019-1030. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2830>
- Mandal, SK; Bhattacharyya, B; Mukherjee, S. 2013. Design optimization of rotary tiller blades: a critical review. *Scientific Journal of Pure and Applied Sciences* (2):260-269.
- Morales-Olmedo, M; Ortiz, M; Sellés, G. 2015. Effects of transient soil waterlogging and its importance for rootstock selection. *Chilean Journal of Agricultural Research* 75:45-56. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000300006>
- Nielsen, DC; Calderón, FJ. 2015. Fallow Effects on Soil. s.l., s.e. p. 287-300 DOI: <https://doi.org/10.2136/2011.soilmanagement.c19>
- Nimmo, JR; Perkins, KS. 2002. Aggregate stability and size distribution. In Dane, JH; Topp, GC. (eds.), *Methods of soil analysis part 4 - physical methods*. Madison, WI. Soil Science Soc. of Am. Book Series, vol. 5. p. 317-328.
- Pal, R; Chaudhary, S; Mishra, R; Bhatia, S; Bist, AS. 2016. Performance evaluation of rotavator based on different soil. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology* 5(8):808-816.
- Rahayu, A; Utami, SR; Prijono, S. 2015. The changes of soil physical and chemical properties of Andisols as affected by drying and rewetting processes. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 3(1):439-446. DOI: <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2015.031.439>
- Rahman, MH; Okubo, A; Sugiyama, S; Mayland, HF. 2008. Physical, chemical and microbiological properties of an Andisol as related to land use and tillage practice. *Soil and Tillage Research* 101(1-2):10-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.006>
- Regelink, IC; Stoof, CR; Rousseva, S; Weng, L; Lair, GJ; Kram, P; Nikolaidis, NP; Kercheva, M; Banwart, S; Comans, RNJ. 2015. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. *Geoderma* 247-248:24-37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.01.022>
- Safar, S; González, H; Cappelli, NL. 2011. Effect of rotary plows on some physical properties of a clay loam soil. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 6(1):32-44.
- Sarrantonio, M; Molloy, T. 2003. Response of sweet corn to red clover under two tillage methods. *Journal of Sustainable Agriculture* 23(2):91-109. DOI: https://doi.org/10.1300/J064v23n02_08
- Soil Survey Staff. 2022. Keys to soil taxonomy, 13th ed. USDA, Natural Resources Conservation Service. s.p.
- Van Oost, K; Quine, TA; Govers, G; De Gryze, S; Six, J; Harden, JW; Ritchie, JC; McCarthy, GW; Heckrath, G; Kosmas, C; Giraldez, JV; Marques da Silva, JR; Merckx, R. 2007. The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. *Science* 318: 626-629.
- WIDEMEX. 2018. Rastra desterronadora invertida. México, s.e. s.p.
- Woignier, T; Pochet, G; Doumenc, H; Dieudonné, P; Duffours, L. 2007. Allophane: A natural gel in volcanic soils with interesting environmental properties. *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 41(1):25-30. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10971-006-0120-y>
- Wu, X; Wei, Y; Wang, J; Wang, D; She, L; Wang, J; Cai, C. 2017. Effects of soil physicochemical properties on aggregate stability along a weathering gradient. *Catena* 156:205-215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.04.017>

