

Asocios de cultivos en camellones prehispánicos y su efecto en las propiedades del suelo

Crop association in pre-hispanic raised beds and their effect on soil properties

Blanco Navarro, Moisés Agustín; Mendieta, Bryan; Rocha, Lester

 Moisés Agustín Blanco Navarro 1
moises.blanco@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

 Bryan Mendieta 2
bryan.mendieta@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

 Lester Rocha 3
lester.rocha@ci.una.edu.ni
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua

La Calera
Universidad Nacional Agraria, Nicaragua
ISSN: 1998-7846
ISSN-e: 1998-8850
Periodicidad: Semestral
vol. 23, núm. 40, 2023
Edgardo.jimenez@ci.una.edu.ni

Recepción: 14 Julio 2022
Aprobación: 02 Febrero 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/306/3063859003/>

DOI: <https://doi.org/10.5377/calera.v23i40.15917>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Resumen: Los pueblos originarios realizaban agricultura de manera muy diferente a la impuesta por los europeos en el siglo XVI, una de sus formas eran los camellones prehispánicos, estructuras elevadas del suelo que permiten mantener húmedo y bien drenado el suelo en la época seca y lluviosa, un método de labranza amigable con el entorno, contrastando con la labranza convencional de intenso laboreo del suelo. En la finca El Madroño propiedad de Cooperativa de Proyectos Agropecuarios de Diriamba, se condujeron ensayos en 2017 y 2018, con el objetivo de conocer el efecto que la labranza tiene sobre las propiedades hidrofísicas y químicas del suelo comparando dos métodos: camellones prehispánicos y labranza convencional. En cada uno se establecieron tres sistemas de asocio de cultivos: maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz, frijol y ayote (*Cucurbita argyrosperma* H.) y maíz pujagua y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.), extrayendo tres muestras de suelo (junio, septiembre y diciembre). Se estableció un diseño de parcelas divididas con medidas repetidas en el tiempo con estructura de parcelas en BCA, encontrándose un incremento de la retención de humedad en el sistema de camellones prehispánicos con 3.2 % en junio, 0.1 % en septiembre y 2.5 % en diciembre, comparado con los de labranza convencional, así como mejores valores de densidad aparente (0.83 g cm.) y una disminución de la temperatura del suelo (2.6 grados menos). Los valores de materia orgánica (6.69 %), pH (6.70), tanto como las cantidades de nitrógeno (0.30 %), fósforo (6.03 partes por millón) y potasio (1.81 meq 100/g de suelo) también se manifiestan de manera superior en el sistema de camellones prehispánicos a los obtenidos en labranza convencional, por lo que representan una opción agroecológica viable.

Palabras clave: nutrición, fertilidad, pueblos originarios, rescate de conocimientos ancestrales.

Abstract: Our original peoples carried out agriculture in a very different way from that imposed by the Europeans in the 16th century, one of its forms were the pre-Hispanic raised beds, elevated soil structures that allowed it to be kept moist in the dry season and well drained in the rainy season, a farming method friendly to the environment, contrasting with conventional farming of intense soil tillage. At the El Madroño farm owned by COOPAD, Diriamba, trials were conducted in 2017 and

2018 to determine the effect that tillage has on the hydrophysical and chemical properties of the soil, comparing two methods: pre-Hispanic raised beds and conventional tillage. In each one, three crop association systems were established: Maize (*Zea mays* L.) and common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), Maize, common beans and squash (*Cucurbita argyrosperma* H.) and Pujagua maize and amaranth (*Amaranthus cruentus* L.), extracting three soil samples (June, September and December). It was established in a divided plot design with repeated measures in time with plot structure in BCA, finding an increase in moisture retention in Pre-Hispanic raised beds systems of 3.2 in June, 0.1 in September and 2.5 % in December, compared to the of conventional tillage as well as better apparent density values (0.83 g cm^3) and a decrease in soil temperature (2.6 degrees less). The values of organic matter (6.69 %), pH (6.70), as well as the amounts of nitrogen (0.30 %), phosphorus (6.03 parts per million) and potassium (1.81 meq 100/g of soil) are also manifested in a higher way. in the system of pre-Hispanic raised beds to those obtained in conventional tillage, which is why they represent a viable agroecological option.

Keywords: Nutrition, fertility, native peoples, rescue of ancestral knowledge.

El carácter migrante del hombre cambió al sedentarismo con el descubrimiento de la agricultura. Esta comenzó “durante el Neolítico, hace unos 10 000 años” (Leguizamón, 2018, p. 9), “en su fase inicial, se desarrolló de manera independiente en diferentes partes del mundo” (Krapovickas, 2010, p. 195), como Mesopotamia y Mesoamérica, de igual manera, los ambientes eran muy diferentes, en las zonas templadas de Mesopotamia, la baja humedad ambiental y el frío del invierno, endurecían el suelo haciendo necesaria la invención del arado para roturarle, mientras, en las zonas tropicales de Mesoamérica, con alta humedad ambiental y suelos más francos, no requerían implementos para roturar la tierra. Debíó crearse otro tipo de agricultura, adecuada a las condiciones tropicales. Rojas (2013), indica que “se trata de un modelo posible según el cual, las sociedades mesoamericanas, habrían descansado en la capacidad de su agricultura para producir e incrementar los excedentes necesarios para su desarrollo” (p. 49). Así, en dos ambientes diferentes, grandes comunidades humanas vivieron de diferente manera el hacer la agricultura.

Al llegar a América los españoles, herederos de la cultura agrícola de Mesopotamia, no comprendieron el sistema de siembra que encontraron e impusieron el que ellos usaban. Con el paso del tiempo, la agricultura precolombina, usando camellones prehispánicos, que son “montículos de tierra que permite almacenar y aprovechar mejor el agua” (Denevan, 2017, p. 18), variedades vegetales múltiples, no laboreo del suelo y uso de cobertura, quedó en el olvido, cambiándose por una labranza convencional con surcos a ras del suelo, monocultivista, con laboreo intenso, a suelo desnudo y por supuesto, uso de agroquímicos. Este sistema de producción ha mostrado serios problemas de sostenibilidad, porque aumenta “la degradación de las tierras

NOTAS DE AUTOR

- 1 MSc. Facultad de Agronomía
- 2 PhD. Facultad de Ciencia Animal, Facultad de Ciencia Animal
- 3 PhD. Facultad de Ciencia Animal

mediante la erosión del suelo y la compactación” (León *et al.*, 2018, p.15), y “disminuye la materia orgánica y la biodiversidad asociada a ella” (Rosset y Altieri 2018, p. 25).

Los antepasados sembraban en camellones prehispánicos, al ser áreas elevadas del suelo, le daba una doble ventaja, pues retenían humedad en caso de sequía y protegían las raíces en caso de inundación, posteriormente depositaban encima cobertura muerta de arvenses que al descomponerse nutrían el suelo, estos camellones prehispánicos, contrastan con la agricultura convencional, a ras del suelo y sin cobertura. Es evidente que el suelo es la base de la agricultura, por lo que un manejo amigable con el ambiente, ayudará a protegerlo y elevará sus propiedades nutricionales y de sostén para los cultivos.

Las propiedades hidrofísicas del suelo, se ven afectadas por el uso del suelo, incluyendo los métodos de labranza. Martín *et al.* (2016), afirman que “el laboreo convencional puede favorecer la destrucción de la estructura, pérdida de materia orgánica, compactación y emisión de CO₂ a la atmósfera” (p. 1). En cuanto a las propiedades hidrofísicas como la temperatura del suelo, García *et al.* (2016), indican que “influye en la manera en la que la planta adquiere el recurso agua” (p. 1).

Lo que, de igual manera, las propiedades químicas del suelo sufren afectación con la labranza. Con respecto a la materia orgánica del suelo, Galvis *et al.* (2016) sostienen que “aumenta la porosidad del suelo favoreciendo el desarrollo de macroorganismos que excavan en busca de comida. Estos túneles y galerías sirven para mezclar y remover el suelo y permiten el paso de cantidades importantes de agua y aire” (p. 2). En referencia a los elementos mayores, Acevedo *et al.* (2011), manifiestan que “tanto en el sistema orgánico y convencional, la importancia del estudio del nitrógeno se debe a que es uno de los elementos más limitantes en la producción de cultivos” (p. 326). Por su parte Sadeghian-Khalajabadi y Arias-Suarez (2018), mencionan que “el potasio es considerado el catión más importante en la fisiología de las plantas, no solo por su contenido en los tejidos vegetales, sino por las funciones que desempeña en la translocación de azúcares” p. 35).

Tomando en consideración lo antes expuesto, se planteó este trabajo, con el objetivo de evaluar las propiedades hidrofísicas: densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y temperatura, así como algunas químicas del suelo (pH, materia orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K), ya que estas determinan el impacto de los sistemas de asocio de cultivo, sobre la calidad del suelo, contrastando dos métodos de labranza: camellones prehispánicos y labranza convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y fecha de estudio

En el periodo de mayo a diciembre en los años 2017 y 2018 en Nicaragua, se realizó esta investigación en la finca El Madroño, de la Cooperativa de Proyectos Agropecuarios de Diriamba (COOPAD), ubicada en las Coordenadas geográficas 11°51' 13" de latitud norte y 86°15' 10" de longitud oeste a una altitud de 580 msnm. Los suelos son de textura arcillosa [Universidad Nacional Agraria (UNA, 2011)], con precipitación anual entre 1 600 mm y 1 800 mm y clima de tipo húmedo, relativamente fresco, con temperatura entre 23 °C y 24 °C [Instituto Nacional de Información y Desarrollo (INIDE, 2017)].

Descripción del experimento

Se evaluaron dos métodos de labranza: camellón prehispánico según descripción de Denevan (2017, p. 18), y labranza convencional, consistente en retiro de cobertura, remoción del suelo y formación de surcos a ras del suelo. Cada método de labranza contenía tres sistemas de asocio de cultivo; para el primer sistema: maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), se sembraron tres surcos en cada camellón separados a 0.30 m; en los surcos laterales se usó una distancia de 0.50 m entre planta y planta de maíz y 0.50 m entre planta y planta de

frijol, se intercalaron una plata de maíz y una de frijol en el mismo surco. En el surco interior se establecieron plantas de frijol a una distancia de 0.25 m entre plantas y 0.30 m entre surcos. El segundo sistema llamado Tres Hermanas: maíz y frijol como en el caso anterior, más el cultivo de ayote (*Cucurbita argyrosperma* H.), sembrado en el centro de cada camellón a 1 m entre posturas, quedando dos plantas por surco. El tercer sistema fue: maíz Pujagua (*Zea mays* L. vr Pujagua) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.), sembrando maíz en los surcos laterales del camellón a una distancia de 0.50 m entre plantas y 0.3 m entre surcos, luego se sembró amaranto a chorro continuo en el surco central del camellón. Las variedades de los cultivos utilizadas fueron: maíz NB-6 y Pujagua, Frijol INTA Sequia Precoz, Ayote Cuarenteño y Amaranto Rojo.

El área de la finca donde se realizaron los ensayos ha estado designada por varios años, al cultivo de granos básicos con manejo orgánico.

Diseño experimental

El ensayo se estableció como un diseño de parcelas divididas con medidas repetidas en el tiempo con estructura de parcelas en BCA. Los años de estudio (2017 y 2018) fueron los bloques. Los métodos de labranza se asignaron a las parcelas, los sistemas agrícolas de cultivo (maíz-frijol, maíz-frijol-ayote y maíz pujagua-amaranto) se asignaron a las subparcelas, y las observaciones en el tiempo (junio, septiembre y diciembre) se asignaron a las sub-subparcelas. El área experimental fue de 10 m de largo por 9 m de ancho (90 m²), para cada método de labranza se delimitó un área útil de 10 m de largo por 3 m de ancho (30 m²) y para cada sistema de asocio de cultivo 10 m de largo por 1 m de ancho (10 m²). Describiendo gráficamente, quedaron dos parcelas apareadas, en las que en una se preparó el suelo (factor A) en camellones prehispánicos y la otra con labranza convencional, en cada una de ellas se establecieron (factor B) tres sistemas de asocio, los datos se tomaron en junio, septiembre y diciembre.

Manejo del ensayo

Los camellones prehispánicos se construyeron 30 días antes de la siembra, cortando las arvenses y retirándolas del área delimitada. Para conformar los camellones, se abrieron cuatro zanjas de 0.25 m de ancho y 10 m de largo, con una profundidad de 0.50 m, separadas 1 m entre sí, la tierra que fue extraída del canal, se depositó al centro para la formación de los camellones de 0.3 m de alto, 1 m de ancho y 10 m de longitud; estableciendo un total de tres camellones en la parcela. Una vez realizados los camellones se depositaron encima las arvenses cortadas al inicio del proceso, como cobertura muerta, esto con el objetivo de conservar la humedad del suelo, favorecer los contenidos de materia orgánica e impedir la emergencia de arvenses.

En el caso de la parcela destinada a labranza convencional, fue preparada el día de la siembra del ensayo, para esto, se cortaron las arvenses y se retiraron de la parcela, se removió el suelo utilizando azadón, dejándolo descubierto y posteriormente se realizaron surcos para la siembra según el sistema agrícola de cultivo.

VARIABLES EVALUADAS

Se tomó una muestra de suelo (0.30 m de profundidad) en cada sistema de cultivo de acuerdo con el método de labranza correspondiente. El muestreo ocurrió en tres momentos (observaciones en el tiempo), inicio (junio), intermedio (septiembre) y final (diciembre), en ambos ciclos de cultivo (2017 y 2018). Tanto para las propiedades hidrofísicas densidad aparente (g cm⁻³), capacidad de campo (%), punto de marchitez permanente (%) y temperatura (°C), como las de fertilidad química pH, materia orgánica (%), nitrógeno (%), fósforo (ppm) y potasio (meq/100 g).

Propiedades hidrofísicas del suelo

Densidad aparente (Da). Para su determinación se utilizó el método del cilindro, que consiste en introducir en el suelo, a 0.20 m de profundidad, un cilindro biselado de 100 cm³, nivelando los bordes con el suelo. Luego se procedió al secado de la muestra en una estufa a 105 °C por 24 horas, hasta obtener un peso constante y registrar su valor (g cm⁻³).

Capacidad de campo (CC) y Punto de marchitez permanente (PMP). Ambas se determinaron a través del método de la olla de Richards (Romero *et al.*, 2020).

Temperatura del suelo (°C). Se registró utilizando un termómetro de suelo (Soil thermometer From Roth Selection), graduado en °C; éste se introdujo en el sustrato a una profundidad de 0.2 m durante dos minutos, iniciando a las 10 am.

Fertilidad química del suelo

Reacción del suelo (pH), materia orgánica (%), contenido de nitrógeno (%), fósforo (ppm) y potasio (meq / 100 g de suelo), utilizando la metodología NOM-RECNAT-2000 de Luiselli (2002, pp.13, 20, 25, 30 y 51), por establecer las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos y ser aceptada internacionalmente en estudios, muestreo y análisis.

La extracción de las muestras de suelo se realizó a 0.3 m de profundidad con un barreno helicoidal. Luego de colectadas todas las muestras, se trasladaron al laboratorio de suelo y agua (LABSA) de la Universidad Nacional Agraria, en Managua, para su respectivo análisis.

Análisis de los datos

Las variables se analizaron usando modelos lineales mixtos. Para cada variable, el modelo completo consistió en el ajuste de todos los efectos principales e interacciones. Se utilizó la Prueba de Razón de Verosimilitud y el Criterio de Información de Akaike, como métodos para seleccionar el modelo adecuado mínimo. Se realizó análisis de residuales por medio de inspección visual de gráficos para detectar violaciones de los supuestos de homocedasticidad, normalidad e independencia. En los casos de heterocedasticidad, el modelo incluyó una estructura de función de varianza que permitiera diferentes varianzas por estrato, y en los casos de presencia autocorrelación serial, se incluyó una estructura de correlación autorregresiva de primer orden. Se realizó comparaciones múltiples usando la Prueba de Tukey. Todos los análisis fueron realizados con el software estadístico R (R Core Team 2021).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades hidrofísicas del suelo

Densidad aparente (Da). No se encontraron diferencias significativas para la variable Densidad aparente con relación a Métodos de labranza ni Sistema de asocio, sin embargo, si hubo para las Observaciones en el tiempo, donde los valores van en descenso desde junio (0.97 g cm³) hasta diciembre (0.83 g cm³). De acuerdo con la escala usada por Flores y Alcalá (2010, p. 38); todos los valores son clasificados como muy baja (<1) por lo que podría inferirse que son suelos propios para la agricultura. Con el tiempo, se reflejó un descenso en este parámetro, traduciéndose como una alteración gradual por disminución de la compactación, debido al aumento de los contenidos de materia orgánica, debido a esto se podrá observar más facilidad de enraizamiento y mejor movimiento del agua a través de los macro y microporos. Según Villalobos-Barquero y Meza-Montoya (2019), “La compactación causa disminución de los rendimientos en los cultivos, promueve

la erosión, la escorrentía superficial y el limitado crecimiento de las raíces” (p. 1). Esta conceptualización está en concordancia con autores como Novillo *et al.* (2018), quienes afirman que “la Densidad aparente del suelo, es utilizada como indicador de calidad del suelo, pudiendo revelar el grado de compactación del suelo y las limitaciones para el crecimiento de las raíces” (p. 178).

Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). Se encontró diferencias significativas en la variable capacidad de campo y en la interacción métodos de labranza y observaciones en el tiempo cómo se aprecia en la Figura 1. Los datos de capacidad de campo estuvieron en el rango medio (20 % - 40 %) de acuerdo con Chicas *et al.* (2014). Los datos indican una interacción significativa entre las variables métodos de labranza y observaciones en el tiempo, disminuyendo en camellones prehispánicos en junio 36.9 %, septiembre 31.7 % y diciembre 31.4 %, y labranza convencional en junio 35.8 %, septiembre 31.7 % y diciembre 28.0 %. En los primeros meses del año, el suelo se encontraba más compactado, por lo que se observa mayor acumulación de agua, al avanzar las Observaciones en el tiempo, se aprecia un descenso en cuanto a la retención de agua, en diciembre los camellones prehispánicos presentan una estabilidad en el tiempo y se logra una mayor retención de agua lo que es más conveniente a los cultivos, puesto que la cantidad de oxígeno en el suelo, depende de la cantidad de agua, estos valores son influenciados por a la adición de materia orgánica, aseveración confirmada por Flores y Alcalá (2010), quienes mencionan que “la Capacidad de campo se ve afectada por el tipo y contenido de materia orgánica” (p. 25).

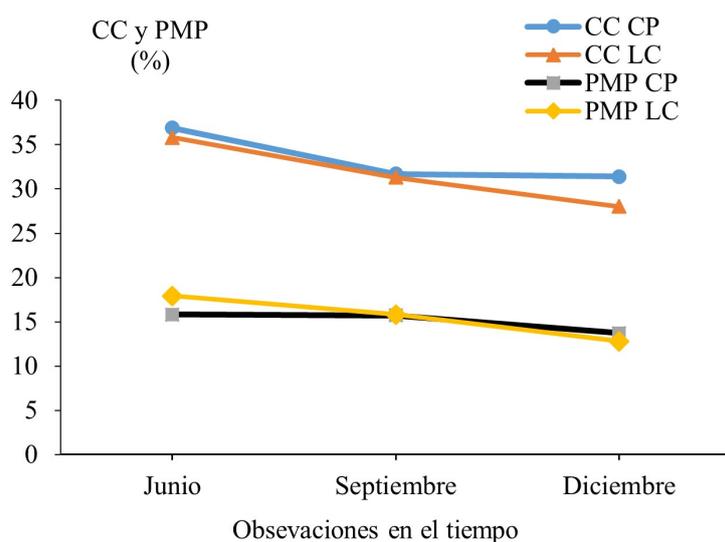


FIGURA 1.
Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), relacionados con labranza en camellones prehispánicos (CP) y labranza convencional (LC) según observaciones en el tiempo, El Madroño, Diriamba, 2018.

En referencia al punto de marchitez permanente, existe una interacción significativa entre métodos de labranza y observaciones en el tiempo, mostrando un descenso sostenido en ambos métodos de labranza, sin embargo camellones prehispánicos presenta un mayor equilibrio (junio 15.8 %, septiembre 15.7 % y diciembre 13.7 %), al compararlos con labranza convencional (junio 17.9, septiembre 15.8 y diciembre 12.8 %) como se indica en la Figura 1.

Equilibrar los suelos es una parte fundamental en la gestión de cualquier explotación agrícola. Todos los valores obtenidos caen dentro del rango de valores medios de acuerdo con Chicas *et al.*, (2014).

Se puede observar que en camellones prehispánicos hay un mayor equilibrio que en labranza convencional, debido a la adición de materia orgánica en estas parcelas. En la práctica, se utiliza este concepto para indicar el límite inferior del intervalo de agua disponible en el suelo (Flores y Alcalá, 2010). Se observa diferencia entre

los momentos de muestreo sobre todo en junio, pero no entre el sistema de labranza, pues el comportamiento es similar. La labranza está influyendo positivamente en el punto de marchitez permanente, pues presenta disminución con el avance del tiempo en ambos casos, pero el punto de marchitez permanente encuentra un mejor equilibrio en función de la humedad del suelo, lo cual indica una alta porosidad, provocando mayor infiltración y aeración, coincidiendo esto con la capacidad de campo (Figura 1), lo que es favorable a los cultivos pues permite a la planta, extraer el agua del suelo. Obtener esta información es muy útil, Hernández *et al.* (2018), afirman que “para conocer de manera satisfactoria la disponibilidad de agua es necesario conocer los valores de capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Aunque la determinación de estos parámetros no es sencilla” (p. 316).

En la Figura 1 se presenta un patrón normal, pues se considera a grandes rasgos que “el punto de marchitez permanente es aproximadamente la mitad de los valores de capacidad de campo” (Zotarelli *et al.*, 2019, p. 2). Por su parte Flores y Alcalá (2010), señalan que “la capacidad de retención de agua disponible es la cantidad de agua retenida por el suelo que puede ser absorbida por las plantas” (p. 25), esto implica que la diferencia entre los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente representan el agua útil, siendo en el caso de camellones prehispánicos de 21.1 %, 16 % y 17.7 %, y en los sistemas de labranza convencional 17.9 %, 15.9 % y 15.2 % para los meses de junio, septiembre y diciembre respectivamente. Estos representan un incremento de 3.2 % y, 0.1 % y 2.5 % en el sistema de camellones prehispánicos.

Temperatura del suelo (T°)

La temperatura del suelo fue disminuyendo en el tiempo (junio 27.9 °C, septiembre 26.6 °C y diciembre 25.3 °C), observándose diferencias de temperatura de 2.6 grados menos de junio a diciembre. La temperatura va en descenso a medida que se acercan los meses fríos del año al final del ciclo en los meses de noviembre y diciembre, de acuerdo con el patrón regular para la zona (INIDE, 2017). También la temperatura del suelo está altamente ligada a la cantidad de materia orgánica, al aumentar la temperatura aumenta la mineralización de la materia orgánica, producto de la actividad microbiana, este descenso de temperatura se explica por una mayor acumulación de materia orgánica en las observaciones en el tiempo, lo cual se aprecia en junio 5.07 %, septiembre 5.79 % y diciembre 6.69 %.

A medida que se vaya practicando la agricultura prehispánica, lo que implica la no remoción del suelo y uso de cobertura, por tanto materia orgánica, se espera que seguirá habiendo cambios positivos en la temperatura para los cultivos. Esto está en concordancia con Huerta *et al.* (2018), los que sostienen que “la cobertura vegetal y las raíces de los cultivos, encima y en la superficie del suelo, reducen la insolación directa” (p. 161). El descenso de temperatura es esperado en camellones prehispánicos al compararse con labranza convencional, encontrándose una diferencia de 1.44 °C. La temperatura alta, de las parcelas sin cobertura, tendrá influencia en la acidificación de los suelos.

Fertilidad química del suelo

pH del suelo. Se presentan valores de pH de suelo, que según la escala de NOM-RECNAT-2000 (Luiselli, 2002, p. 13), son medianamente ácidos (junio 6.49, septiembre 6.46 y diciembre 6.70), se aprecia que con el tiempo, aumenta el pH y forma la linealidad, esto puede interpretarse, como un nivel óptimo de pH en cuanto a fertilidad del suelo se refiere, ya que es un parámetro esencial en la absorción de nutrientes. Muchos cultivos se desarrollan mejor con valores cercanos a la neutralidad o neutros (6.5 – 7), ya que los elementos nutritivos están disponibles entre estos valores.

La diferencia en pH de junio a diciembre fue de 0.21, lo cual es normal en el tiempo, puesto que para un aumento de 0.20 en pH, se requiere el paso de dos a tres meses, esto posiblemente debido a la descomposición

de los residuos de tallos de maíz, ricos en calcio (Ca) y magnesio (Mg), como ya lo han reportado Treviño *et al.* (1974, p. 4), debido a que son elementos que contribuyen con la alcalinidad del suelo; por tanto, se deduce la importancia que representa, agronómicamente, el uso del componente orgánico dentro de los programas integrales de control de la acidez (Castro y Munevar, 2013).

“Si el suelo es excesivamente ácido, entonces en el complejo de cambio del suelo abundan los hidrogeniones y el Al” (Toledo, 2016, p. 24), impidiendo que otros elementos necesarios tales como el potasio permanezcan en él, pasando a la fracción soluble y siendo fácilmente eliminados con el agua de lluvia o de riego, Esto lo confirma Toledo (2016), cuando enuncia que “bajo condiciones naturales, la acidificación se asocia con la lixiviación de bases intercambiables por el agua de infiltración” (p. 36). El componente orgánico es aportado por la cobertura de los camellones prehispánicos, los que al descomponerse reducen la acidez.

Materia orgánica del suelo (%). Según NOM-RECNAT-2000 (Luiselli, 2002, p. 20) los valores de materia orgánica se clasifican como altos (junio 5.07 % y septiembre 5.79 %) y muy altos (diciembre 6.69 %), Al comparar las observaciones en el tiempo, se encontró que se aumentó en 1.62 %, demostrándose con esto la acumulación de materia orgánica. Los valores obtenidos superan a los reportados por Medina *et al.* (2017), quienes encontraron valores de materia orgánica de 3.26 % a 5.82 %. (p. 505). Los resultados en esta investigación aumentan estos valores, debido a la cobertura, la que aumenta la materia orgánica. Esta a su vez, influye en el pH, en junio presentó un pH medianamente ácido de 6.49, el que aumentó hasta llegar en diciembre (6.70), de esta manera la cobertura hace que se logre estabilizar los nutrientes, puesto que, según Toledo (2016), “cuando se aplica materia orgánica, se incrementa el pH, reduciéndose el efecto tóxico por excesos de elementos como el Al y el Mn” (p. 62). Esta estabilidad presupone mayor disponibilidad y continuidad de valores muy altos. Las prácticas agroecológicas aumentan los contenidos de materia orgánica del suelo. Además, los residuos de cosecha se constituyen en un aumentan la materia orgánica, lo que se refleja en el aumento de esta en diciembre, cuando ya habían pasado tres meses de la cosecha de maíz y cuatro meses de la cosecha frijol.

Nitrógeno en el suelo. Considerando la escala de NOM-RECNAT-2000 (Luiselli, 2002, p. 51), los valores iniciales en junio y septiembre son altos (0.27 % y 0.28 % respectivamente), pues está comenzando la acumulación y descomposición de la materia orgánica; en diciembre (0.30 %), ya se ha acumulado materia orgánica suficiente y con ello aumentar los valores nitrógeno. Los valores de N son producto de la disponibilidad de materia orgánica, a mayor contenido de materia orgánica se espera más contenido de N. Estas consideraciones están de acuerdo con autores como Martínez y Galantini (2018), los que refieren que “el N acumulado en la biomasa comienza a ser reciclado, quedando disponible de nuevo para las plantas” (p. 7). Los aumentos en contenidos de N se explican también por la simbiosis entre los cultivos en el sistema, referente a esto, Martín *et al.* (2017), menciona que “una forma sostenible de incorporar nitrógeno a los sistemas agrícolas es la inserción de cultivos de plantas que establezcan simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógenos presentes en el suelo, capaces de realizar la fijación biológica” (p. 123).

No fue posible detectar diferencias significativas en los sistemas de labranza, ya que los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica están influenciados por diferentes factores, entre ellos la temperatura (junio 27.9 °C, septiembre 26.6 °C y diciembre 25.3 °C), factor que fue muy similar en ambos sistemas de labranzas.

Fósforo en el suelo. Los valores de fósforo según la escala de NOM-RECNAT-2000 (Luiselli, 2002, p.25), son bajos (camellones prehispánicos = 6.03 ppm y labranza convencional = 3.43 ppm). Sin embargo, se registran diferencias significativas entre los sistemas de labranza (Figura 2).

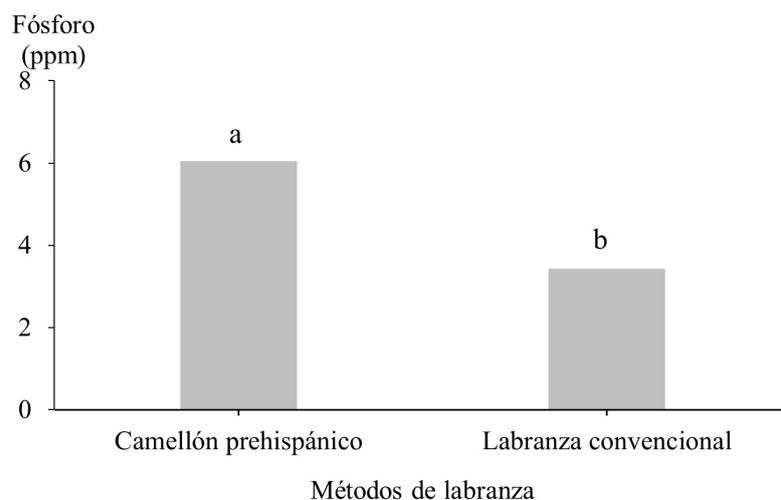


FIGURA 2.

Contenido de fósforo (ppm), relacionados con los métodos de labranza, El Madroño, Diriamba, 2018.

Los valores mayores de fósforo que se observan en los camellones prehispánicos (6.03 ppm), son debido a una mayor cobertura (materia orgánica) en el suelo, esto coincide por lo expresado por Subero *et al.* (2016), los que enuncian que “Los cambios en los métodos de labranza, junto con la incorporación de los residuos de cosecha, alteran los cambios de la materia orgánica en los suelos y por consiguiente, la disponibilidad del P” (p. 81). En referencia a la presencia de fósforo en el tiempo, este fue en ascenso constante (junio 3.74 ppm, septiembre 4.71 ppm y diciembre 5.72 ppm), evidenciando la acumulación de este. También estos valores según escala de NOM-RECNAT-2000 (Luiselli, 2002, p. 25), son clasificados como bajos, pero considerados normales en suelos volcánicos, principalmente los del orden Andisol, esto lo confirma Espinosa (2007), “Una de las características más importantes de los Andisoles (suelos derivados de cenizas volcánicas), es su capacidad para inmovilizar (fijar) el fósforo (P).” (p. 1). Si se toma en consideración el pH tendiente a la neutralidad (6.49 a 6.70) y el alto contenido de materia orgánica (5.07 % a 6.69 %), se espera una mayor disponibilidad de fósforo con el paso del tiempo. La materia orgánica va sufriendo el proceso de mineralización, dejando una mayor cantidad de fósforo en el suelo. Esta aseveración concuerda con lo expresado por Pose *et al.* (2016), cuando afirman que “la disponibilidad del fósforo también está dada por el uso del suelo” (p. 381), clara alusión a los métodos de labranza. El comportamiento del fósforo en forma ascendente en el tiempo puede ser explicado por el incremento constante (junio 5.07 % y septiembre 5.79 % y diciembre 6.69 %) de materia orgánica en el suelo.

Potasio en el suelo

Para esta variable se registra diferencia estadísticas. Los valores según la escala de NOM-RECNAT-2000 (Luiselli, 2002, p. 30), son considerados de altos a muy altos (camellones prehispánicos = 1.81 meq/100 g de suelo y labranza convencional = 1.60 meq/100 g de suelo), como se observa en la Figura 3.

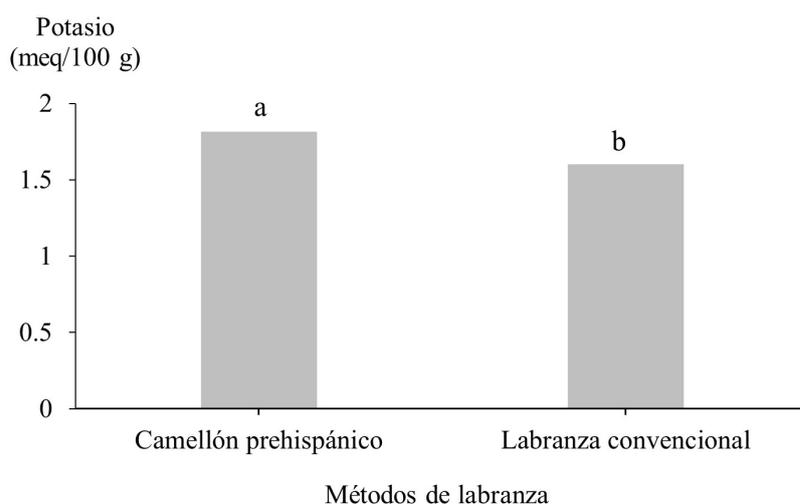


FIGURA 3.
Contenido de potasio (meq/100 g de suelo) relacionados con los métodos de labranza, El Madroño, Diriamba, 2018.

La diferencia entre los sistemas de labranza son producto de la descomposición de la materia orgánica adicionada al suelo como parte del manejo de los camellones prehispanicos.

Los contenidos de potasio tienden a descender en el tiempo, como parte de la absorción de parte del cultivo. Los valores pasan de 2.07 meq /100 g de suelo en junio a 2.02 meq /100 g de suelo en septiembre y se presenta una mayor linealidad con valores altos pero descendiendo aún más en diciembre hasta 1.02 meq /100 g de suelo. Este comportamiento se debe a la extracción de parte del cultivo, quien absorbe mayor cantidad de potasio en la medida que avanzan sus etapas fenológicas. De acuerdo con estos resultados y la según escala de NOM-REC NAT-2000 (Luiselli, 2002, p. 30), aun con esta disminución se mantienen valores altos de potasio, debido en parte de la incorporación de materia orgánica, así como por la naturaleza de los suelos volcánicos, los que presentan altos contenidos de potasio.

CONCLUSIONES

El sistema de camellones prehispanicos presenta mejores propiedades hidrofísicas del suelo como densidad aparente, comportamiento de la temperatura, retención de humedad, así como mejores resultados en los valores de pH, materia orgánica y nitrógeno, fósforo y potasio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo Cristóbal, D., Álvarez Sánchez, M. E., Hernández Acosta, E. y Améndola Massiotti, R. (2011). Concentración de nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 325-332. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n3/2395-8030-tl-29-03-00325.pdf>
- Castro, H. y Munevar, O. (2013). Mejoramiento químico de suelos ácidos mediante el uso combinado de materiales encalantes. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 409 – 416. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a15.pdf>
- Chicas Soto, R., Vanegas Chacón, E. y García Alvarez, N. (2014). Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1), 41-46. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n1/rcta07114.pdf>

- Denevan, W. M. (2017). Una perspectiva histórica sobre el descubrimiento de Campos Elevados (Camellones) prehispánicos en Sud América. En F. Valdez (Ed.), *Agricultura ancestral camellones y albarradas: Contexto social, usos y retos de I pasado y de I presente* (pp. 17-23). https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-03/010039069.pdf
- Espinosa, J. (2007). *Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica*. <https://acortar.link/WGFR03>
- Flores Delgadillo, L. y Alcalá Martínez, J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos*. UNAM. <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/lfs/manualLFS.pdf>
- Galvis Quintero, J. H., Chaparro Anaya, O., Bernal Riobo, J. H., & Baquero, J. E. (2016). Evaluación de la estabilidad estructural y espacio poroso en un Oxisol de sabana de los Llanos Orientales de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(1). <https://doi.org/10.22490/21456453.1613>
- García Tejera, O. López Bernal, A. Villalobos, F. Orgaz F., & Testi, L. (2016). Effect of soil temperature on root resistance: implications for different trees under Mediterranean conditions. *Tree Physiology*, 36, 469-478. <http://doi.org/10.1093/treephys/tpv126>
- Hernández, J. P., Díaz, E. y Cerana, J. (2018). *Estimación del punto de marchitez permanente en suelos de la provincia de Entre Ríos*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11522.43206>
- Huerta Olague, J., Oropeza Mota, J., Guevara Gutierrez, R., Ríos Berber, J., Martínez Menes, M., Barreto García, O., Olguín Lopez, J. y Mancilla Villa, O. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *IDESIA*, 36(2). 153-162. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v36n2/0718-3429-idesia-00701.pdf>
- Instituto Nacional de Información y Desarrollo. (2017). *Anuario Estadístico 2017*. <https://www.inide.gob.ni/docs/Anuarios/Anuario2017.pdf>
- Krapovickas, A. (2010). La domesticación y el origen de la agricultura. *Bomplandia*, 19(2), 193-199. https://www.bfa.fcnym.unlp.edu.ar/catalogo/doc_num.php?explnum_id=1449
- Leguizamón, E. S. (2018). *Historia de la horticultura*. Ediciones INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_a_saho_historia_horticultura.pdf
- León Noguera, P., Castro Lizazo, I., Álvarez Pinedo, A. y Grau González, J. (2018). Método Convencional de preparación del suelo. Cuatro aspectos que lo caracterizan. *Ciencia Universitaria*. 16(1). <https://rcta.unah.edu.cu/index.php/acunah/article/view/1038>
- Luiselli Fernández, C. (2002, 31 de diciembre). Norma Oficial Mexicana (NOM). NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Martín Alonso, G., Tamayo Aguilar, Y., Hernández Forte, I., Varela Nualles, M. y Da Silva Araujo, E. (2017). Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno en Canavalia ensiformis crecida en un suelo pardo mullido carbonatado mediante los métodos de abundancia natural de ^{15}N y diferencia de N total. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 122-130. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193250540016>
- Martín Martín, R., Jerez Mompies, E. y Moreno Lucas, F. (2016). Influencia del laboreo en algunas propiedades hidrofísicas del suelo y en la extracción de nutrientes por el trigo (*Triticum durum* L.). *Cultivos Tropicales*, 37(4), 136-144. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193247419015>
- Martínez, J. M. y Galantini, J. A. (2018). Nitrógeno del suelo: desde la materia orgánica al cultivo. En J. A. Galantini (Ed.), *Siembra directa en el SO Bonaerense* (pp. 7-12). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26547.07203>
- Medina Méndez, J., Volke Haller, V., Galvis Spinola, V., Cortés Flores, J. y Santiago Cruz, M. J. (2017). Incremento de la materia orgánica del suelo y rendimiento de mango en Luvisoles, Campeche, México. *Agronomía Mesoamericana*, 28(2), 499-508. <https://doi.org/10.15517/ma.v28i2.22236>
- Novillo Espinoza, E. I., Carrillo Zenteno, M., Cargua Chávez, J., Nabel Moreiral, K., Albán Solarte, F. y Morales Intriago, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177 – 187. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>
- Pose, N. N., Baeza, M. C., Zamuner, E. C., Di Gerónimo, P. y Del Carmen Videla, C. (2016). Parámetros agronómicos y ambientales de fósforo en suelos molisoles con diferentes usos en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Acta*

Agronómica, 65(4), 375-382. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-2812201600400008

- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing* (versión 4.1.1) [software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Rojas Rabiela, T. (2013). Técnicas, métodos y estrategias agrícolas. *Arqueología Mexicana*, 21(120), 48-53. https://www.academia.edu/11904221/T%C3%A9cnicas_m%C3%A9todos_y_estrategias_agr%C3%ADcolas
- Romero Campos, M., Cid Lazo, G., C. González Robaina F. y López Seijas, T. (2020). Curvas tensión humedad y función conductividad hidráulica en suelos pardos. *Revista Ingeniería Agrícola*, 10(2), 21-27. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586263256004/586263256004.pdf>
- Rosset, P. y Altieri, M. (2018). *Agroecología Ciencia y Política*. SOCLA. <http://celia.agroeco.org/wp-content/uploads/2018/12/Rosset-y-Altieri-texto-completo-sin-portada-1.pdf>
- Sadeghian-Khalajabadi, S. y Arias-Suarez, E. (2018). Lixiviación del potasio en suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 24-42. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v16n1/1692-3561-bsaa-16-01-00034.pdf>
- Subero, N., Ramírez, R., Sequera, O. y Parra, J. C. (2016). Fraccionamiento de fósforo en suelos cultivados con arroz por largos períodos de tiempo. II. Relación fósforo orgánico-inorgánico. *Bioagro*, 28(2), 81-86. <http://ve.scielo.org/pdf/ba/v28n2/art02.pdf>
- Toledo, M. (2016). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos*. IICA. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf?sequence=1>
- Treviño, J., Hernández, M. T. y Caballero, R. (1974). Estudio del valor nutritivo de las hojas y tallo del maíz híbrido de tallo azucarado E-10. *Pastos*, 4(2), 286-292. <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/542>
- Universidad Nacional Agraria. (2011). *Criterios de clasificación según resultados de laboratorio*.
- Villalobos-Barquero, V. y Meza-Montoya, A. (2019). Impacto en la densidad aparente del suelo provocado por el tránsito de búfalos (*Bubalus bubalis* L.) en arrastre de madera. *Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci)*, 53(2). 147-155. <https://doi.org/10.15359/rca.53-2.8>
- Zotarelli, L., Dukes, M. y Morgan, K. (2019). *Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad*. Universidad de la Florida. https://www.researchgate.net/publication/345870387_Interpretacion_del_contenido_de_la_humedad_del_suelo_para_determinar_capacidad_de_campo_y_evitar_riego_excesivo_en_suelos_arenosos_utilizando_sensores_de_humeda