



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Trabajo de Graduación

Comparación de la fertilidad del suelo bajo dos métodos de labranza: prehispánica y convencional, en la Cooperativa de Proyectos Agropecuarios de Diriamba (COOPAD), Diriamba, Carazo, 2017

AUTORES

Br. Horacio Felipe Vega Miranda

Br. Julio César Aragón Valerio

ASESORES

MSc. Moisés Agustín Blanco Navarro

Ing. Norman Ibragin Cruz Vela

Ing. Enrique José Pereira Chavarría

Managua, Nicaragua

Octubre, 2018

“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Trabajo de Graduación

Comparación de la fertilidad del suelo bajo dos métodos de labranza: prehispánica y convencional, en la Cooperativa de Proyectos Agropecuarios de Diriamba (COOPAD), Diriamba, Carazo, 2017

AUTORES

Br. Horacio Felipe Vega Miranda

Br. Julio César Aragón Valerio

ASESORES

MSc. Moisés Agustín Blanco Navarro

Ing. Norman Ibragin Cruz Vela

Ing. Enrique José Pereira Chavarría

**Presentado a la consideración del Honorable Tribunal
Examinador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo**

Managua, Nicaragua
Octubre, 2018

“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la decanatura de la Facultad de Agronomía (FAGRO) de la Universidad Nacional Agraria (UNA) como requisito final para optar al grado de:

Ingeniero Agrónomo

MIEMBROS DEL HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

MSc. Henry Alberto Duarte Canales
Presidente

Ing. Arnoldo Rodríguez
Secretario

MSc. Juan Carlos Morán Centeno
Vocal

CONTENIDO

SECCION	PÁGINA
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
III. MATERIALES Y METODOS.....	4
3.1. Ubicación y fecha de estudio.....	4
3.2. Diseño metodológico.....	4
3.3. Manejo del ensayo.....	5
3.4. Variables a evaluar.....	5
3.4.1. Propiedades hidrofísicas del suelo.....	5
3.4.2. Fertilidad química del suelo.....	6
3.5. Análisis de los datos.....	6
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4.1. Propiedades hidrofísicas del suelo.....	7
4.1.1. Densidad aparente.....	7
4.1.2. Capacidad de campo.....	8
4.1.3. Punto de marchitez permanente.....	10
4.1.4. Temperatura del suelo °C.....	12
4.1.5. Humedad del suelo %.....	13
4.2. Fertilidad química del suelo.....	14
4.2.1. pH del suelo.....	15
4.2.2. Materia orgánica del suelo (%)......	16

4.2.3. Nitrógeno en el suelo	17
4.2.4. Fósforo en el suelo.....	19
4.2.5. Potasio en el suelo	20
V. CONCLUSIONES.....	23
VI. LITERATURA CITADA.....	24
VII. ANEXOS.....	27

DEDICATORIA

A Dios que en su fidelidad, me permitió poder culminar esta etapa tan importante para mí y que sin su providencia y salud no hubiera sido posible.

Mis abuelos Julio César Miranda Martínez y Wilfredo Horacio Vega González (q.e.p.d.) quienes desde pequeño pudieron calar en mí la pasión por la agricultura, y poder ver en ellos un ejemplo a seguir.

A mis padres Horacio Vega y Scarlett Miranda por el apoyo, motivación y consejos recibidos para culminar esta etapa académica.

Br. Horacio Felipe Vega Miranda

DEDICATORIA

Primeramente, dedico este trabajo al Dios todo poderoso que me ayudo todos estos años dándome sabiduría y fuerzas para poder cumplir mi meta.

A mis padres Julio Aragón Reyes y Rosalba Valerio Gonzales. A mi hermano Oliver Aragón. A mis amistades. Que fueron mi motivación para poder culminar con mis estudios y dándome sus consejos para poder salir adelante en los momentos más difíciles que pase en esta etapa de mi vida.

Br. Julio César Aragón Valerio

AGRADECIMIENTO

En primera instancia damos gracias a Dios, porque sin su providencia y fidelidad no hubiéramos podido culminar nuestros estudios universitarios.

A MSc. Moisés Blanco Navarro, por hacernos parte de su trabajo de doctorado. Además agradecemos el tiempo, apoyo, asesoramiento y motivación dada durante todo este proceso, el cual sin duda fue parte fundamental para la culminación.

A Ing. Agr. Norman Cruz Vela por su disponibilidad en todo momento para atender nuestras inquietudes, por su acompañamiento en toda la etapa de campo e investigación, y por la amistad dada en todo este tiempo.

Al asesor Ing. Agr. Enrique José Pereira Chavarría por el tiempo dedicado a la revisión del trabajo.

Al Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA-UNA), por su constante apoyo y disposición para poder realizar los análisis y toma de datos correspondientes al tema de investigación.

A nuestro compañero Oscar Rivera, por su apoyo en la etapa investigativa; y cada uno de los compañeros que de una u otra manera aportaron ideas para el enriquecimiento científico del trabajo.

A todos y cada uno de los docentes, que con su dedicación y empeño nos facilitaron el aprendizaje de cada uno de los principios que rigen la agronomía.

Br. Horacio Felipe Vega Miranda y Br. Julio César Aragón Valerio

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Componentes de las propiedades hidrofísicas del suelo tomadas de 0 a 0.3 metros de profundidad según tratamiento y época de muestra al comparar camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.	11
2	Componentes de la fertilidad química de 0 a 0.3 metros de profundidad según tratamiento y época de muestra al comparar camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.	22

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Datos de densidad aparente (Da) en camellones prehispánicos y agricultura convencional.	7
2	Datos de capacidad de campo en camellones prehispánicos y agricultura convencional.	9
3	Datos de punto de marchitez permanente en camellones prehispánicos y agricultura convencional.	10
4	Datos de temperatura en °C de camellones prehispánicos y agricultura convencional.	12
5	Datos de humedad relativa de suelo % en camellones prehispánicos y agricultura convencional.	14
6	Datos de pH en camellones prehispánicos y agricultura convencional.	16
7	Datos de contenido de materia orgánica en camellones prehispánicos y agricultura convencional.	17
8	Datos de contenido de nitrógeno en camellones prehispánicos y agricultura convencional.	18
9	Datos de fósforo disponible en camellones prehispánicos y agricultura convencional.	19
10	Datos de potasio disponible en camellones prehispánicos y agricultura convencional.	21

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1	Plano de campo del ensayo sobre camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.	28
2	Camellones prehispánicos, Finca El Madroño, Diriamba, Carazo, 2017	29
3	Incorporación de cobertura muerta como fuente de materia orgánica, Finca El Madroño, Diriamba, Carazo, 2017.	29
4	Remoción de suelo en parcelas de labranza convencional Finca El Madroño, Diriamba, Carazo, 2017.	29
5	Rangos de clasificación de densidad aparente.	30
6	Toma de datos de temperatura de suelo con un termómetro de mercurio 45 °C a una profundidad de 20 cm, Finca El Madroño, Diriamba, Carazo, 2017.	30
7	Toma de muestra de suelo en un cilindro biselado para la variable densidad aparente, Finca El Madroño, Diriamba, Carazo, 2017.	30
8	Datos de temperatura y humedad cada 15 días en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.	31
9	Resultados de análisis de T-Student de las variables hidrofísicas en estudio al comparar camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.	31
10	Resultados de análisis de T-Student de las variables Químicas en estudio al comparar camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.	31

RESUMEN

La fertilidad del suelo es una de las limitantes al momento de evaluar rendimientos de cultivos en zonas tropicales, lo cual ha llevado a cambiar el modo de hacer producir el suelo dando como alternativa una agricultura sostenible y sobre todo en pro de la conservación de los recursos naturales. Se ha registrado este modo de agricultura desde épocas prehispánicas, cuando se utilizaban campos elevados o camellones para crear un medio de suelo fértil de gran profundidad y proveer de drenaje a áreas donde hay una capa freática no muy profunda o donde inundaciones estacionales limitaban la producción agrícola. Tomando en cuenta, las ventajas que proveen la implementación de camellones prehispánicos desde épocas pretéritas, ésta investigación comparó la fertilidad del suelo en dos métodos de labranza (prehispánica y convencional). El estudio fue llevado a cabo en la finca El Madroño, ubicada en el municipio de Diriamba, Carazo, durante el periodo 2017. Para su evaluación se utilizaron las siguientes variables: Temperatura y humedad de suelo, pH, contenidos de N, P y K; densidad aparente, punto de marchitez permanente y capacidad de campo. A partir de los resultados obtenidos no hubo diferencias estadísticas que mostraran la eficiencia de un método de labranza sobre otro; por lo tanto, los camellones prehispánicos representan una técnica competente ante la labranza convencional.

Palabras claves: Temperatura, Humedad, Camellones, Propiedades físicas, Propiedades químicas

ABSTRACT

The fertility of the soil is one of the constraints to evaluate crop yields in tropical areas, which has led to change the mode to produce the soil, giving, as an alternative, sustainable agriculture and above all in favor of the conservation of natural resources. This mode of agriculture has been registered since precarious times, when elevated fields or mounds were used to create a fertile soil mean of great depth and provide drainage to areas where there is a high ground water or where seasonal flooding limited agricultural production. Taking into account, the benefits that provide the implementation of pre-Hispanic mounds from that times, this research compared fertility of the soil in two methods of tillage (pre-Hispanic mounds and conventional tillage). This research was carried out on the farm El Madroño located in Diriamba, Carazo; during the period of 2017. The following variables were used for its evaluation: temperature and humidity of soil, pH, content of NPK, bulk density, field capacity and permanent wilting. Where, based on the obtained results there were no statistical differences, that determine the efficiency of a method over another. Thus, the pre-Hispanic represents a competent technique mounds in the face of conventional tillage.

Key words: Temperature, moisture, mound, physical properties, chemical properties

I. INTRODUCCIÓN

Desde épocas precolombinas, la agricultura se caracterizó por la implementación de sistemas agrícolas especializados que respondieran a garantizar la seguridad alimentaria de nuestros ancestros indígenas, sin considerar en primera instancia las limitaciones de suelo y clima de las zonas de cultivo. Seguramente estas condiciones provocaron a los pobladores indígenas implementar el uso de camellones prehispánicos o campos elevados. Estudios arqueológicos realizados por Smith *et. al.*, (1968) citado por Erickson (2000) en la cuenca del Lago Titicaca, en los Andes Sur-Centro, de lo que corresponde en la actualidad a Perú y Bolivia, caracterizaron los camellones como plataformas de tierra de cultivo elevadas (1 a 20 metros de ancho, 10 hasta 500 metros de largo, y 0,5 a 1 metro de alto). Adyacentes a cada plataforma están las zanjas que proporcionaron la tierra para la construcción de dichos camellones.

Denevan (2001) citado por Valdez (2006), menciona que también se han encontrado éstas estructuras en otras zonas de América del Sur, como Llanos de Mojos (Bolivia), Rio San Jorge (Colombia), Cuenca de las Guayas (Ecuador), Sabana de Bogotá (Colombia), y Valle del Casma (Perú). En cada uno, sus dimensiones son variables, ya que la permeabilidad del suelo tiene influencia sobre el ancho de los campos; y en el caso de la longitud va a depender por el tamaño del sitio. En el valle del río San Jorge (Colombia) se registraron longitudes de 1.5 km (Denevan, 1970), y de 3 km en la cuenca de Guayas (Ecuador) (Parsons, 1973).

Dentro de las funciones que cumplen los camellones están; regular la circulación del agua, (evacuación del agua excedente producto de inundaciones), canalización del agua (mejorar retención de agua y humedad en el suelo), y mejoramiento estructural del suelo (enriquecimiento del suelo mediante la incorporación de residuos vegetales de cosecha e incorporación de lodos orgánicos producidos en los canales que se extrajo la tierra) (Valdez, 2006).

Existe sólida evidencia de que estos sistemas agrícolas intensivos hicieron posible el mantenimiento por algunos miles de años de poblaciones densas y bien organizadas (Denevan, 1980; Erickson *et al.*, 1991).

En la actualidad estas tierras son poco utilizadas y sustentan únicamente a una pequeña población de ganaderos y agricultores, al ser percibidos mayormente como tierras difícilmente cultivables después de la conquista española; como consecuencia de esto, fueron dedicados a un uso de ganadería extensiva.

Con la llegada de la revolución verde, surgió lo que actualmente se conoce como la agricultura convencional, este tipo de agricultura se basa en dos principios, maximizar la producción y las ganancias económicas (Gliessman, 2002).

Autores como Gliessman (1998) y Altieri (1999), coinciden en que el modelo agrícola convencional tiene como base seis prácticas fundamentales: labranza intensiva, monocultivos, riego, aplicación de fertilizantes inorgánicos, control químico de plagas y manipulación genética de los cultivos.

Las prácticas antes mencionadas afectan negativamente al ecosistema y más allá a los recursos naturales. En la actualidad se pueden observar las consecuencias por el manejo ineficiente del suelo, catalogados en cierta manera como degradados y con baja fertilidad química, física y biológica lo que conlleva a bajos rendimientos.

Considerando estudios arqueológicos de las zonas establecidas desde la época prehispánica, en la cual demuestran que la implementación de camellones permite crear las mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo de los cultivos, se compararán las propiedades hidrofísicas y químicas del suelo de dos métodos de labranza: camellones prehispánicos y convencional.

Cabe mencionar, que esta investigación es parte de un trabajo doctoral que se titula “Rescate de conocimientos ancestrales de los pueblos originarios, como herramientas para la seguridad alimentaria ante el cambio climático en Nicaragua” el cual se basa en la evaluación de las técnicas agronómicas ancestrales, como es el caso de camellones prehispánicos, desde tres enfoques: diversidad de los invertebrados como indicador biológico de la calidad del suelo, rendimiento de los cultivos y comparación de las propiedades hidrofísicas y químicas del suelo.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluación de las propiedades hidrofísicas y químicas del suelo en dos métodos de labranza: camellones prehispánicos y labranza convencional.

2.2. Objetivos específicos

1-Comparar la influencia de dos métodos de labranza sobre los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica y pH del suelo.

2-Analizar el efecto de los dos métodos de labranza sobre las propiedades hidrofísicas del suelo (capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente, humedad y temperatura de suelo).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación y fecha de estudio

El estudio se realizó en el periodo de mayo a diciembre 2017, en la finca El Madroño propiedad de la Cooperativa de Proyectos Agropecuarios de Diriamba (COOPAD), ubicada del Cementerio Municipal de Diriamba 500 m al Oeste. Coordenadas geográficas 11°51'13" latitud Norte y de 86°15'10" longitud oeste, con una altitud aproximada de 536 msnm. Según INIDE (2008), el clima se caracteriza por ser de tipo húmedo y relativamente fresco con temperaturas que oscilan entre 25 y 30 °C. La precipitación anual oscila entre 1 200 y 1 400 mm. Los suelos presentan textura arcillosa.

3.2. Diseño metodológico

El ensayo se estableció como un diseño experimental comparativo de dos métodos de labranza: camellón prehispánico y convencional. El área experimental midió 168 m², para cada método de labranza se delimitó un área de 30 m², que a la vez contenía tres sistemas de cultivo en 9 m² para un total de 6 parcelas comparativas prehispánicas y 6 parcelas comparativas convencional. (Anexo 1).

Los sistemas de cultivos establecidos para cada método de labranza, son los siguientes:

- Sistema Tradicional de asocio: Maíz (*Zea mays* L.) y Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)
- Sistema Antiguo de las Tres Hermanas: Maíz y Frijol, más el cultivo de Ayote (*Cucurbita argyrosperma* H.)
- Sistema de Rescate usando Maíz Pujagua y Amaranto (*Amaranthus caudatus* L.)

3.3. Manejo del ensayo

Para la elaboración de los camellones prehispánicos, se procedió en primera instancia a cortar los arvenses ubicados en el área delimitada. Luego, se excavó para la formación de zanjas a una profundidad de 0.5 m, en donde el excedente de tierra se ocupó para la formación de dichos camellones, los que se establecieron a una longitud de 3 m y 1 m de ancho; permitiendo un total de 9 camellones por parcela (Ver Anexo 2). Una vez realizados los camellones se incorporaron los arvenses cortados al inicio del proceso, como cobertura muerta, con el objetivo de conservar la humedad del suelo y favorecer a los contenidos de materia orgánica (Anexo 3). Todo este procedimiento se realizó 30 días antes de la siembra.

En el caso de las parcelas destinadas a labranza convencional, se removió el suelo utilizando azadón, y posteriormente se realizaron surcos para la siembra de los cultivos (Anexo 4).

3.4. Variables a evaluar

3.4.1. Propiedades hidrofísicas del suelo

Densidad aparente

En la medición de esta variable se utilizó el método del cilindro, este consistió en introducir un cilindro biselado, de volumen conocido en el suelo, nivelando los bordes con el suelo, y posterior se cierra herméticamente. Luego se procedió al secado de la muestra en una estufa a 105° C en el Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA-UNA) hasta obtener un peso constante y registrar su valor (g cm^{-3}).

Para esta variable se extrajo dos muestras de suelos, es decir dos cilindros en los dos métodos de labranza: camellones prehispánicos y agricultura convencional. Este proceso se repitió 3 veces durante el ciclo del ensayo (inicio, intermedio y final).

Capacidad de campo (CC)

Se determinó a través del método de la olla de Richard en el Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA-UNA). La extracción de las muestras fue tomada en ambos métodos de labranza tres veces durante el ciclo del ensayo (inicio, intermedio y final).

Punto de marchitez permanente (PMP)

Se determinó a través del método de la olla de Richard en el Laboratorio de Suelos y Agua (LABSA-UNA). La extracción de las muestras fue tomada en ambos métodos de labranza tres veces durante el ciclo del ensayo (inicio, intermedio y final).

Temperatura del suelo (°C)

En la medición se utilizó un termómetro de mercurio de 45 °C, el cual se introdujo a una profundidad de 20 cm. Dicha medición se realizó cada 15 días en las parcelas en estudio.

Humedad de suelo (%)

La humedad relativa del suelo se tomó con un sensor de humedad de suelo modelo *MP406*, a una profundidad de 20 cm. La toma de datos se realizó cada 15 días en las parcelas en estudio.

3.4.2. Fertilidad química del suelo

La fertilidad química del suelo en dicho estudio, se basó en las variables reacción del suelo pH, materia orgánica y contenido de NPK en el suelo.

Para la extracción de las muestras de suelo se utilizó un barreno helicoidal, a una profundidad de 30 cm. Se tomó una muestra en cada sistema de cultivo de acuerdo al método de labranza correspondiente, para luego mezclarlo y hacer una sola muestra representativa por método de labranza. Luego de colectadas las muestras, se llevaron al laboratorio de suelo y agua (LABSA) de la Universidad Nacional Agraria para su respectivo análisis. El muestreo ocurrió en tres momentos, inicio, intermedio y final del ciclo productivo.

3.5. Análisis de los datos

Los datos recopilados de las variables en estudio, se manejaron en hojas electrónicas (Excel) para su posterior análisis con el programa Minitad (Minitad v. 12). Se realizó una comparación de medias sobre las variables hidrofísicas y químicas a partir de T-student. El nivel de significancia usado en el análisis fue de ($p = 0.05$).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Propiedades hidrofísicas del suelo

4.1.1. Densidad aparente

La densidad aparente es dependiente de la porosidad, y sus valores muy variables aun en un mismo tipo de suelo, influenciada por las actividades de manejo y cantidad de materia orgánica (Medina *et al.*, 2009). La densidad aparente excesiva inhibe la penetración de las raíces y su desarrollo.

La densidad aparente (D_a) al principio de la toma de datos del ensayo presentó valores muy bajos, principalmente en los camellones prehispánicos (0.73 g/cm^3) en comparación a las parcelas convencionales (0.85 g/cm^3); a mediados del ciclo ambos tuvieron un comportamiento ascendente, hasta que concluyó el ciclo, donde los camellones prehispánicos (1.02 g/cm^3) superaron los valores encontrados en las parcelas manejadas como agricultura convencional (0.91 g/cm^3) (Figura 1).

Tomando en consideración que el exceso de densidad aparente inhibe la penetración de las raíces y su desarrollo, los datos obtenidos a final del ciclo en camellones prehispánicos son los que más se aproximan a los valores recomendables ($1.2 - 1.45 \text{ g/cm}^3$), determinados por LABSA-UNA (2011), lo cual indica que a pesar de haber obtenido el valor más alto en comparación a labranza convencional, no impide la penetración y desarrollo de los cultivos (Anexo 5).

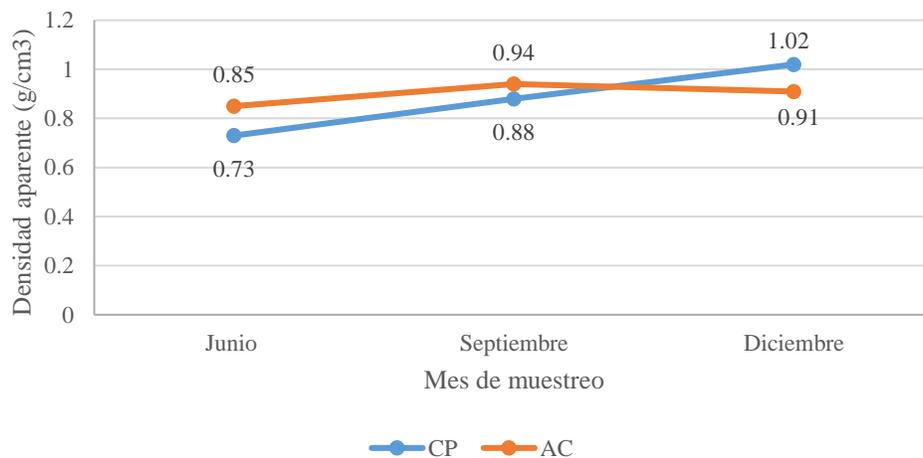


Figura 1. Datos de densidad aparente (D_a) en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

La inconsistencia del efecto de sistema de labranza convencional sobre la densidad aparente ya ha sido estudiada; donde según Díaz *et al.* (2004) citado por Alonso y Aguirre (2010) no encontró diferencia estadística significativa de su comportamiento al comparar sistemas de cero labranza y labranza convencional. Otro efecto fue demostrado por Yoo y Wander (2006) citado por Alonso y Aguirre (2010) en donde determinaron que con labranza cero la densidad aparente se incrementó en todos los suelos de tipo franco-limosos y franco-arcillosos, comportamiento similar al generado por los camellones prehispánicos.

Dicho comportamiento esta atribuido al incremento de la materia orgánica durante el experimento, en donde en suelos con mayor contenido de materia orgánica tienden a tener valores menores de densidad aparente, es por ello que a inicio y mediados del ciclo los valores de densidad aparente de camellones prehispánicos son menor a los encontrados en labranza convencional (Cuadro 1).

La densidad aparente de un suelo varía según la textura, estructura, contenido de materia orgánica y la compactación. Los suelos más sueltos y porosos, tendrán una densidad aparente menor, pues poseen mayor volumen que aquellos más compactos; en cambio los suelos con una densidad aparente mayor tienen un espacio poroso menor debido a un mayor grado de compactación (Navarro y Navarro, 2013).

Los suelos de texturas finas (arcillosos) presentan una granulación menor y un contenido de materia orgánica suficiente, ya que las partículas no están en contacto estrecho, por lo tanto, dada la mayor porosidad, la Da será menor.

4.1.2. Capacidad de campo

A esta variable, Cairo (1995), la define como la cantidad de agua que existe cerca de la superficie del suelo, en equilibrio con una capa freática situada a 1 m de profundidad. Esta práctica indica el límite superior del agua disponible para el crecimiento de las plantas, aunque el agua no está fuertemente retenida en el suelo siempre está disponible para el crecimiento de las plantas mientras este en contacto con las raíces.

Con respecto a la capacidad de campo con los dos métodos de labranza se obtuvieron valores entre 28.96 - 39.80 %, considerados por Cairo (1995), de media capacidad siendo el método convencional quien tiene valores más altos con respecto a los camellones prehispánicos, pero al continuar el ciclo productivo los valores en ambos métodos disminuyeron siendo los valores de camellones mayores a la agricultura convencional (31.90, 28.96 %) respectivamente (Figura 2).

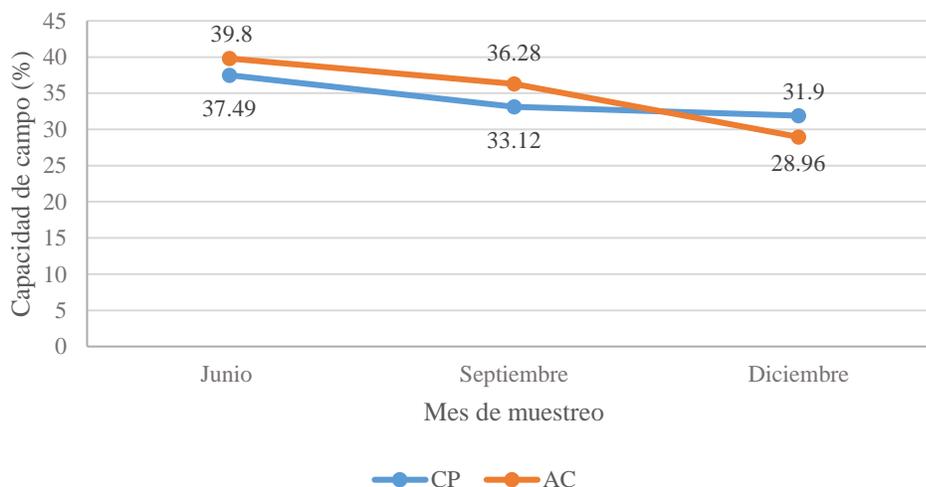


Figura 2. Datos de capacidad de campo en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

Esto es posible que se deba al contenido de materia orgánica existente en los suelos, ya que, el análisis de materia orgánica realizado en el laboratorio demostró que el contenido de materia orgánica es mayor a mitad del ciclo usando técnicas prehispánicas (6.55 %), que en el sistema convencional (6.26 %), permitiendo así una mayor movilidad de agua en el interior del suelo debido a que a mayores valores de materia orgánica hay mayor espacio entre los poros (Cuadro 1). Esto es confirmado por Gliessman (2002), el cual afirma que cuando se incrementa los contenidos de materia orgánica en el suelo, el agua es atraída con mayor fuerza y que su intensidad está determinada por el tamaño de las partículas y los contenidos de materia orgánica del suelo.

4.1.3. Punto de marchitez permanente

Es el indicador del contenido de humedad en el suelo, menor a la capacidad de absorción del agua por la raíz para satisfacer la demanda de la planta (Medina *et al.*, 2009). Por cuanto el punto de marchitez permanente, se define como el nivel de humedad en el cual las plantas absorben agua con dificultad y se marchitan (Mendoza, 2013).

El punto de marchitez permanente obtuvo valores comprendidos entre 12.27 hasta 19.41 % en distintos tiempos durante el ciclo. Reflejando una reducción de valores más marcada en el sistema de manejo convencional, en comparación a los valores obtenidos en el manejo prehispánicos, en donde se reflejó una reducción de los valores menos pronunciada, comportamiento reflejado en la primera y segunda toma de datos (Figura 3). En la última toma de datos, se observa un aumento en el caso de las parcelas de manejo convencional, y en el caso de las parcelas con manejo prehispánico hubo una reducción, ambos valores obtenidos no demuestran diferencia estadística (Cuadro 1).

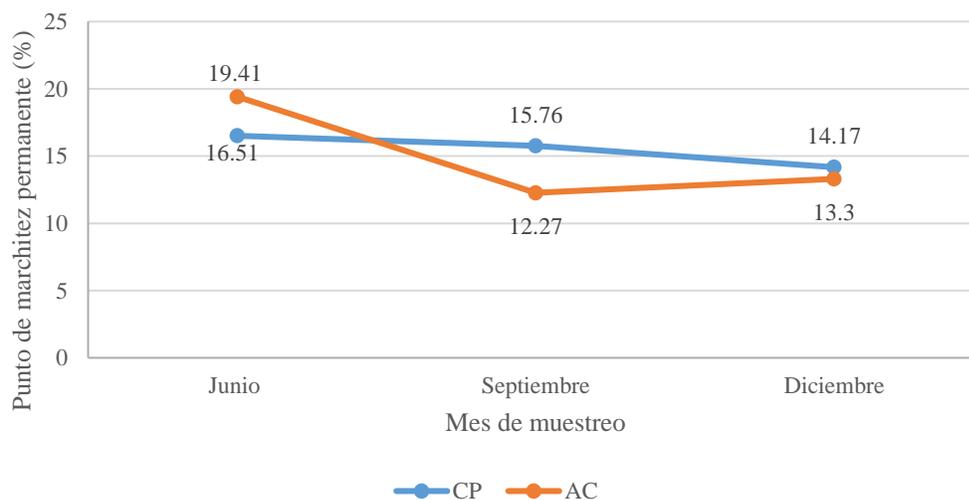


Figura 3. Datos de punto de marchitez permanente en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

El argumento más apropiado para responder al comportamiento reflejado en esta variable, es que contrario a lo acontecido en la variable de capacidad de campo, en donde la mayor cantidad de agua retenida en el suelo, a final de ciclo se obtuvo en el sistema manejado con técnicas prehispánicas, debido a un aumento en el porcentaje de materia orgánica, es lógico apuntar que la cantidad de agua retenida en el límite inferior del suelo (PMP) sea menor en los sistemas prehispánicos, debido a que la mayoría de agua retenida se encuentra en el límite superior (CC) del suelo.

De forma general, lo antes planteado se puede explicar desde la perspectiva de la movilidad del agua en el interior del suelo. En uno de sus escritos, Gil (2002), afirma que la porosidad incide entre la capacidad de retención y movimiento del agua en los suelos, la cual se ve caracterizada por su forma, tamaño y distribución en el mismo. Si bien no se evaluó la porosidad de los suelos de manera directa, mediante los resultados de densidad aparente obtenidos podemos determinar que a mayor densidad aparente en el suelo menor será su espacio poroso, fenómeno característico en el sistema prehispánico (Figura 1), por lo tanto la movilidad de agua se ve obstruida y es por ello que hay mayor porcentaje de acumulación de agua en este sistema.

También Gil (2002), menciona que la distribución del tamaño de poros y la continuidad de dichos poros son altamente modificables por la labranza o bien por sistemas de no laboreo de suelo, en donde la actividad biológica es quien marca la pauta.

Cuadro 1. Componentes de las propiedades hidrofísicas del suelo tomadas de 0 a 0.3 metros de profundidad según tratamiento y época de muestra al comparar camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

Componente / Variable	Junio 2017		Septiembre 2017		Diciembre 2017	
	CP	AC	CP	AC	CP	AC
Da (g cm ³)	0.73	0.85	0.88	0.94	1.02	0.91
CC (%)	37.49	39.8	33.12	36.28	31.9	28.96
PMP	16.51	19.41	15.76	12.27	14.17	13.3

Nota: CP: Camellones prehispánicos, AC: Agricultura convencional, Da: Densidad aparente, CC: Capacidad de campo, PMP: Punto de marchitez permanente.

4.1.4. Temperatura del suelo °C

Los procesos físicos, químicos y biológicos de un ecosistema están fuertemente influenciados por la temperatura. Su importancia radica en que es un factor de control de la intensidad de distintos procesos, los cuales se dan en intervalos de temperaturas en el tiempo.

Según Lanfranco *et al.*, (2014), los principales efectos están dirigidos en la planta en procesos como la germinación (influirá sobre la estación de crecimiento, época de floración, fecha de la cosecha), actividad respiratoria, crecimiento (la absorción de nutrientes disminuye a temperaturas extremas) y la disponibilidad de agua para la planta (mayor en suelos con alta temperatura).

La actividad microbiana se ve favorecida o inhibida según la temperatura. Por ejemplo, la nitrificación es inhibida por las bajas temperaturas; la descomposición de la materia orgánica es menor a bajas temperaturas. La introducción de régimen de temperatura del suelo ha sido reconocida por distintos sistemas de clasificación de suelos. Como criterio clave de la taxonomía de suelo, así lo afirma Lanfranco *et al.*, (2014).

Los datos obtenidos en la variable temperatura de suelo, al hacer comparaciones en camellones prehispánicos como en agricultura convencional, no difirieron entre los dos métodos de labranza. En la Figura 4 se observan temperaturas que oscilan entre 24 a 27 °C, lo cual se debe a que en los trópicos la temperatura sufre pocas oscilaciones, tanto en el aire como en el suelo.

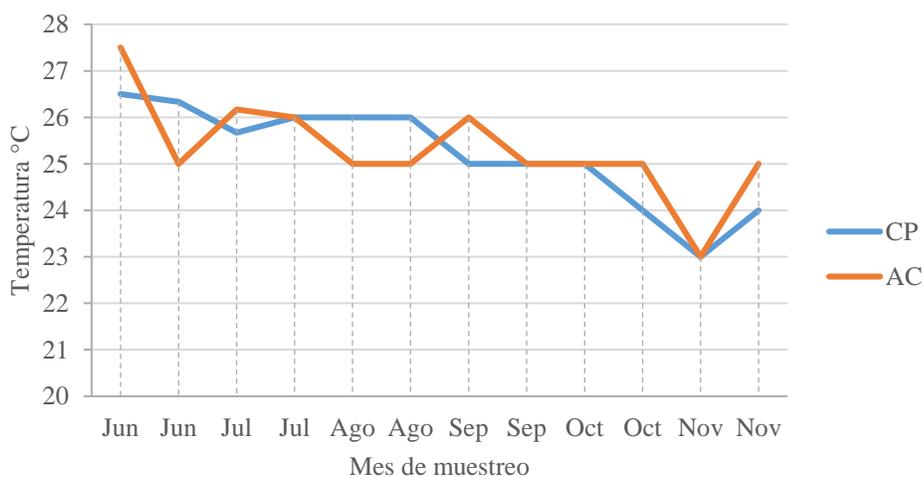


Figura 4. Datos de temperatura en °C de camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

Sin embargo, considerando la novedad del tema por consiguiente la poca experiencia nacional, debemos considerar la opinión de diversos investigadores en otros países los que afirman y comprueban las ventajas de este sistema, dicen así: Los camellones prehispánicos aumentan la temperatura del suelo entre 2 °C a 3 °C en la cama de semillas, lo que permite adelantar las siembras y conseguir mayores rendimientos (Mayer, 2012).

Estudios realizados por Lhomme y Vacher (2003) con respecto al efecto de la temperatura en los camellones y pampas (término que hace referencia a llanuras) encontraron una temperatura de cultivo siempre mayor (1-2 grados) en los camellones que en la pampa.

Valdez (2006), presentó un estudio realizado en la zona de Batallas, Provincia Los Andes del departamento de La Paz, Bolivia, donde encontró temperaturas medias y mínimas a 1.50 metros de profundidad; los sistemas evaluados (camellones prehispánicos y pampa) no presentaron diferencias significativas, sin embargo, se observó una ganancia de 0.33°C a favor de los camellones prehispánicos.

La temperatura de los camellones prehispánicos va a variar según el tipo de materia orgánica que se le incorpora como nos demuestra Sánchez *et al.* (1998). Que la variación diaria de la temperatura del suelo depende del tipo de cobertura presente en la superficie, ya que ésta interfiere en el suplemento de energía proveniente del sol. Para una clase dada de suelo, la amplitud térmica diaria, a una determinada profundidad, con algún tipo de cobertura, contribuye para reducir sensiblemente la amplitud térmica diaria del suelo.

4.1.5. Humedad del suelo %

La humedad del suelo es la clave para la sostenibilidad del agrosistema, su manejo no se trata de proporcionar cantidad en la entrada de agua, sino de mantener eficiente la humedad como parte crucial del manejo de todo agrosistema (Gliessman, 2002), permitiendo una mayor disponibilidad de agua para las plantas.

La variable humedad del suelo, presentó mayor variación, esto debido a que el contenido de la misma depende de las precipitaciones propias de la zona, no obviando el mes de canícula (mes de julio), en el cual se encontró un contenido de humedad del 9%, en camellones como en agricultura convencional (Figura 5).



Figura 5. Datos de humedad relativa del suelo % en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

Efectivamente Dalrymple *et al.*, (1993) citados por Demuner *et al.*, (2014), mencionan en un estudio que aborda el efecto de labranza, mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular, que no existen diferencias significativas en la disponibilidad de agua en el perfil del suelo entre cero labranzas, mínima labranza y labranza convencional.

En el análisis estadístico obtenido a partir de T-Student, reveló que en las variables hidrofísicas no existe diferencia estadística significativa en ambos métodos de labranza (Anexo 9).

4.2. Fertilidad química del suelo

Fertilidad del suelo

Existen varios conceptos que definen la fertilidad de suelo, ya que es un término que se puede emplear en diferentes sentidos. En donde se puede definir como:

Una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del suelo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Sánchez, 2007).

La fertilidad del suelo es la capacidad que posee el suelo para satisfacer las necesidades nutricionales de la planta garantizando su normal crecimiento y desarrollo, considerando las características físicas, químicas y biológicas de éste.

Es básico señalar que fertilidad y productividad del suelo son dos conceptos distintos. Según García (2007), “Un suelo fértil no necesariamente es productivo, las condiciones de drenaje insuficiente, alta plasticidad, sequías, etc. Pueden limitar su capacidad de producir, aun teniendo una fertilidad adecuada”. Lo anterior indica que bajo ciertas condiciones un suelo puede tener alta capacidad productiva y baja productividad.

Tomando en consideración lo antes expuesto, Abbott y Murphy (2007), definen la fertilidad química como la capacidad del suelo de proveer los nutrientes eficientemente, requerido por las plantas para su normal crecimiento y rendimiento, sin perjuicio de los procesos físicos y biológicos que involucran el reciclaje de nutrientes

4.2.1. pH del suelo

El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de absorción de iones (H^+) de las partículas del suelo e indica si un suelo es ácido o alcalino. Es el principal indicador de la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Influye en la solubilidad, movilidad y disponibilidad de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (Suquilanda, 2017).

Los datos obtenidos de pH presentan un comportamiento irregular en ambos métodos, siendo más evidente en las parcelas con manejo convencional. En parcelas prehispánicas se registró una disminución del 3% de la primera toma de datos hasta la segunda, y un aumento del 7% al final del ciclo. En el caso de la agricultura convencional alcanzo una disminución del 8% de la primera toma de datos hasta la segunda, y luego un aumento del 12% al final del ciclo (Figura 6). El fenómeno de acidificación está dirigido a la acumulación de iones de H^+ y Al^{+3} , causado por largos eventos de precipitación, drenaje de suelos potencialmente ácidos, deforestación y prácticas de uso del suelo quitando restos de cosecha. Aunque los valores obtenidos en camellones son clasificados según Fassbender (1984) como ligeramente ácido (6.0 a 6.9), y para las parcelas convencionales se clasifican como moderadamente ácidos a los encontrados entre (5.0 a 5.9) como se registra a mitad del ciclo, y ligeramente ácidos para los registrados en la primera y última toma de datos.

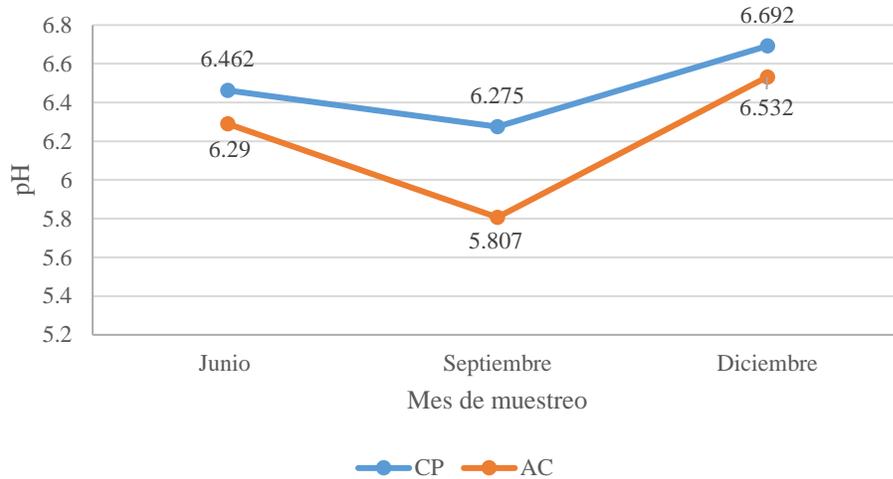


Figura 6. Datos de pH en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

4.2.2. Materia orgánica del suelo (%)

Según Suquilanda (2017), la materia orgánica del suelo está constituida por residuos de origen vegetal o animal, generados por la actividad agrícola, pecuaria y/o agroindustrial. Mediante los procesos de descomposición físicos, químicos y biológicos de la materia orgánica estimulados por la humedad, la temperatura, el aire y los microorganismos, se transforma en humus en un lapso de 3 a 4 meses.

El contenido de materia orgánica, en los camellones prehispánicos como en agricultura convencional, presentaron una leve diferencia en su contenido a través de todo el ciclo productivo teniendo en rangos de 4.55 % a 6.55 % de su contenido en el suelo (Figura 7). Son clasificados, según Fassbender (1987), como altos, quien establece esta categoría cuando los porcentajes de materia orgánica del suelo sobrepasan el 5 % del volumen total del mismo (Cuadro 2).

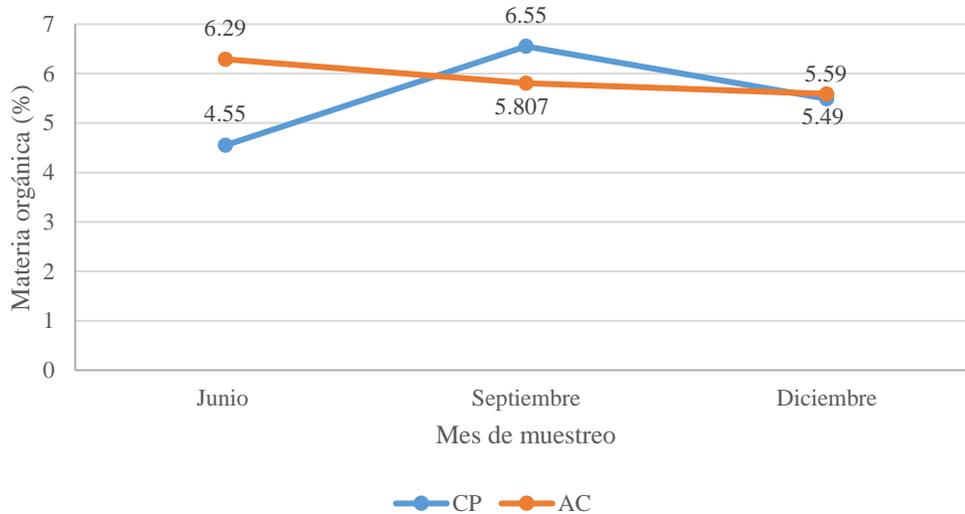


Figura 7. Datos de contenido de materia orgánica en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

Irónicamente la agricultura convencional tiende a degradar la calidad del suelo en diferentes formas. La materia orgánica se reduce debido a la ausencia de cobertura vegetal y el suelo se compacta por el paso frecuente de maquinaria pesada. La falta de materia orgánica reduce la fertilidad del suelo y degrada su estructura, incrementando su estructura y aumentando su compactación. Esto implica adicionar nutrimentos y utilizar más y más maquinaria para romper la compactación. La labranza intensiva también incrementa significativamente la erosión del suelo debido al viento o al agua (Gliessman, 2002).

4.2.3. Nitrógeno en el suelo

El nitrógeno (N) se encuentra en distintas formas en el suelo, desde N elemental (N_2), pasando por N orgánico (proteína, aminoácidos y enzimas), nitrógeno inorgánico (NH_4^+ , y como óxidos NO_3^-) hasta las formas gaseosas (NH_3 , NO, NO_2 , y N_2O) (García, 2007).

El N es absorbido por las plantas como Nitrógeno inorgánico, NO_3^- y NH_4^+ . Esto representa el 2 % del N total del suelo y se encuentra solubilizada en la solución del suelo.

En la Figura 8 se refleja que el contenido de N en camellones como en la agricultura convencional tuvieron un incremento de su contenido en el suelo. Según los criterios de clasificación de LABSA-UNA (2011), estos valores son considerados como altos (mayores de

0.15 %), y se ubican según Fassbender (1984), dentro del rango de concentraciones para suelos tropicales (0,02 % - 2 %). Ortega (1987), plantea que la variabilidad del nitrógeno en el suelo depende de la aportación de materia orgánica, la cual a su vez está limitada por cantidad de biomasa que constituye la mayor parte de los materiales orgánicos suministrados al suelo.

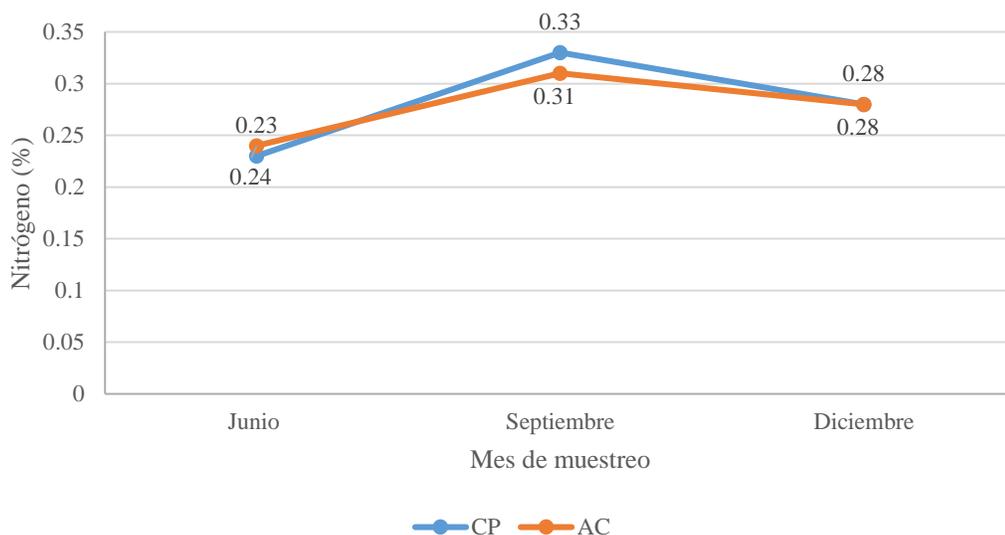


Figura 8. Datos de contenido de nitrógeno en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

La disponibilidad de N en el suelo, está determinada por la cantidad de materia orgánica que un suelo pueda contener, la cual a su vez está limitada por la acción de microorganismos que permitan la transformación en sus formas asimilables para la planta (NO_3^- y NH_4^+), por ende, en ambos sistemas no se presentó diferencias estadísticas significativas (Anexo 10), aunque en los sistemas de camellones prehispánicos se observaron valores un poco mayores en las tomas de datos realizados a inicios y mediados del ciclo, pudiéndose inclinar al efecto que pueda tener la incorporación de rastrojos a la superficie del suelo, efecto que será más evidente en el siguiente año, y más en años sucesivos, tomando como consideración que la descomposición de esta materia no es inmediata.

4.2.4. Fósforo en el suelo

El contenido de fósforo (P) del suelo se encuentra correlacionado con su grado de evolución y contenido de materia orgánica. El fósforo del suelo se puede separar en dos categorías: P-inorgánico y P-orgánico. La fuente original de fósforo corresponde a los materiales parentales; las rocas ígneas contienen 0.1 a 0.3 % de P (García, 2007).

El contenido de fósforo de los suelos es generalmente bajo y las plantas lo absorben como ion monofosfato (H_2PO_4) y escasamente como ion difosfato (H_2PO_4).

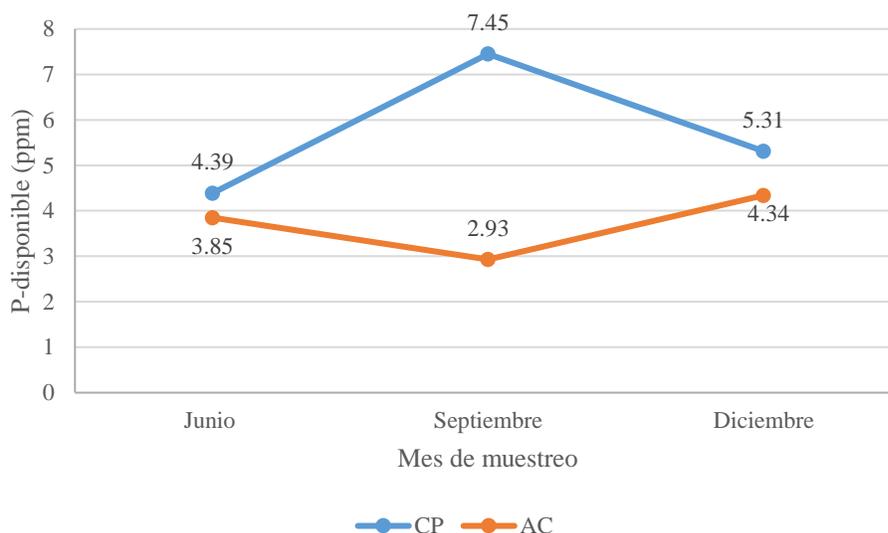


Figura 9. Datos de fósforo disponible en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

Al momento de establecerse el ensayo, se encontró que el contenido de fósforo en el suelo con camellones y convencional tenía una variación del 12 % (4.39 a 3.89 ppm), respectivamente. A mediados del ciclo la variación fue del 60 % (7.45 a 2.93 ppm) favoreciendo a los camellones prehispánicos. Al finalizar el ciclo, la variación entre ambos fue de 18 % (5.31 a 4.34), respectivamente (Figura 9).

Dicho comportamiento, puede deberse a una disminución de los valores pH durante el mes de septiembre en el caso del suelo en los sistemas de agricultura convencional, esto es debido a que la máxima disponibilidad de fósforo es en pH próximos a 6.5, en cambio a pH bajos la fijación de fósforo reacciona con Fe/Al provocando una oxidación y precipitación a $AlPO_4$ y $FePO_4$

(Havlin *et al.*, 2016). En el caso del comportamiento registrado en los sistemas de camellones prehispánicos, puede estar causado por valores de pH próximos a 6.5, y además de esto un incremento en la actividad microbiana la cual según Havlin *et al.*, (2016), los compuestos orgánicos del suelo incrementan la disponibilidad de fósforo mediante la formación de complejos organofosforados que son más solubles.

4.2.5. Potasio en el suelo

El potasio (K^+) del suelo proviene en gran parte de la descomposición de los minerales contenidos en las rocas, a partir de los cuales se ha formado el suelo (material parental).

García (2007), define que en los suelos se pueden distinguir varias formas de potasio:

- K-estructural nativo contenido en minerales primarios como feldespatos potásicos.
- K-asociado a los minerales secundarios.
- K- intercambiable, en las cargas de las arcillas.
- K- en la solución del suelo (soluble).

Los resultados referentes al contenido de potasio nos muestran que a inicios del ciclo presentaron el mismo valor (2.22 ppm). Luego, en la etapa de crecimiento y desarrollo de los cultivos, se ve un incremento del 33 % (2.97 ppm) para el caso de camellones prehispánicos, y una disminución no significativa del 2 % para agricultura convencional (2.17 ppm), ambas variaciones fueron a partir de la primera toma de datos. Igualmente, en esa etapa, la diferencia en porcentaje obtenida entre dos métodos de labranza fue de 27 % (2.97 versus 2.17 ppm), favoreciendo el contenido en los camellones prehispánicos.

A final de todo el ciclo, ambos tuvieron un descenso en sus contenidos de K, siendo para camellones prehispánicos la variación de 53 % (1.38 ppm, valor al final del ciclo); y de 47 % para agricultura convencional (1.16 ppm, valor al final del ciclo), ambas variaciones tomadas a partir de la segunda toma de datos, respectivamente (Figura 10).

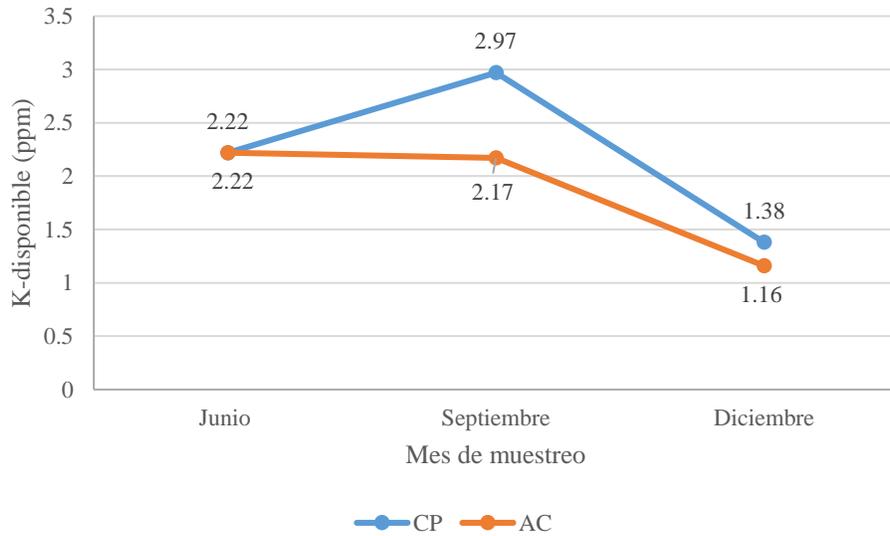


Figura 10. Datos de potasio disponible en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

La disminución de los valores de K^+ en ambos sistemas puede estar relacionada a un fenómeno de lixiviación la cual ocurre cuando se presentan altos contenidos de humedad en el suelo o bien precipitaciones que favorezca dicho fenómeno, cabe mencionar que los datos de humedad obtenidos en ambos sistemas no mostraron diferencias estadísticas significativas. Por lo tanto, la pérdida de K^+ será más evidente en suelos donde no hay presencia de cobertura vegetal (sistema convencional), dando como resultados valores mayores en el sistema de camellones prehispánicos producto de un mayor porcentaje de cobertura, a pesar de que no haya diferencias estadísticas. Según afirman Havlin *et al.*, (2016), los suelos que presentan un alto grado de compactación y alto nivel de humedad (deficiente capacidad de drenaje de los suelos), inhiben el crecimiento normal de las raíces, lo cual en el caso de la disponibilidad de K^+ su efecto es más pronunciado.

Cuadro 2. Componentes de la fertilidad química de 0 a 0.3 metros de profundidad según tratamiento y época de muestra al comparar camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

Componente / Variable	Junio 2017		Septiembre 2017		Diciembre 2017	
	CP	AC	CP	AC	CP	AC
pH	6.46	6.29	6.27	5.80	6.69	6.53
MO %	4.55	4.90	6.55	6.26	5.49	5.59
Nitrógeno%	0.23	0.24	0.33	0.31	0.28	0.28
P- disponible (ppm)	4.39	3.85	7.45	2.93	5.31	4.34
K- disponible (ppm)	2.22	2.22	2.97	2.17	1.38	1.16

Nota. CP: Camellones prehispánicos, AC: Agricultura convencional, MO: Materia orgánica, N: Nitrógeno, P: Fósforo, K: Potasio.

De acuerdo al análisis estadístico T-Student realizado para las variables química de suelo no se encontró diferencia estadística significativa en ninguno de los dos métodos de labranza (Anexo 10).

V. CONCLUSIONES

En los resultados obtenidos en ambos métodos de labranza (camellón prehispanico y labranza convencional) no se encontraron diferencias estadísticas.

La fertilidad del suelo está limitada por los niveles de materia orgánica; los mayores valores encontrados en los camellones prehispanicos a mitad del ciclo se atribuyen a la utilización de cobertura muerta como fuente principal de materia orgánica. En donde, su influencia se vio reflejada en mayor contenido de N y K en las parcelas prehispanicas a mitad del ciclo en comparación a la convencional. En cambio, los niveles de pH moderadamente ácidos (5.8) registrados en la parcela convencional a mitad de ciclo influyeron notoriamente en una menor disponibilidad de P (2.93 ppm).

El efecto generado por los camellones prehispanicos en los valores de densidad aparente tomados en el mes de Junio y Septiembre, son un indicador de los altos contenidos de materia orgánica. En cuanto a las variables de humedad y temperatura del suelo, no hubo grandes variaciones en los datos. Cabe destacar, que son variables dependientes del clima y las precipitaciones, en donde inciden de igual manera en ambos métodos de labranza.

VI. LITERATURA CITADA

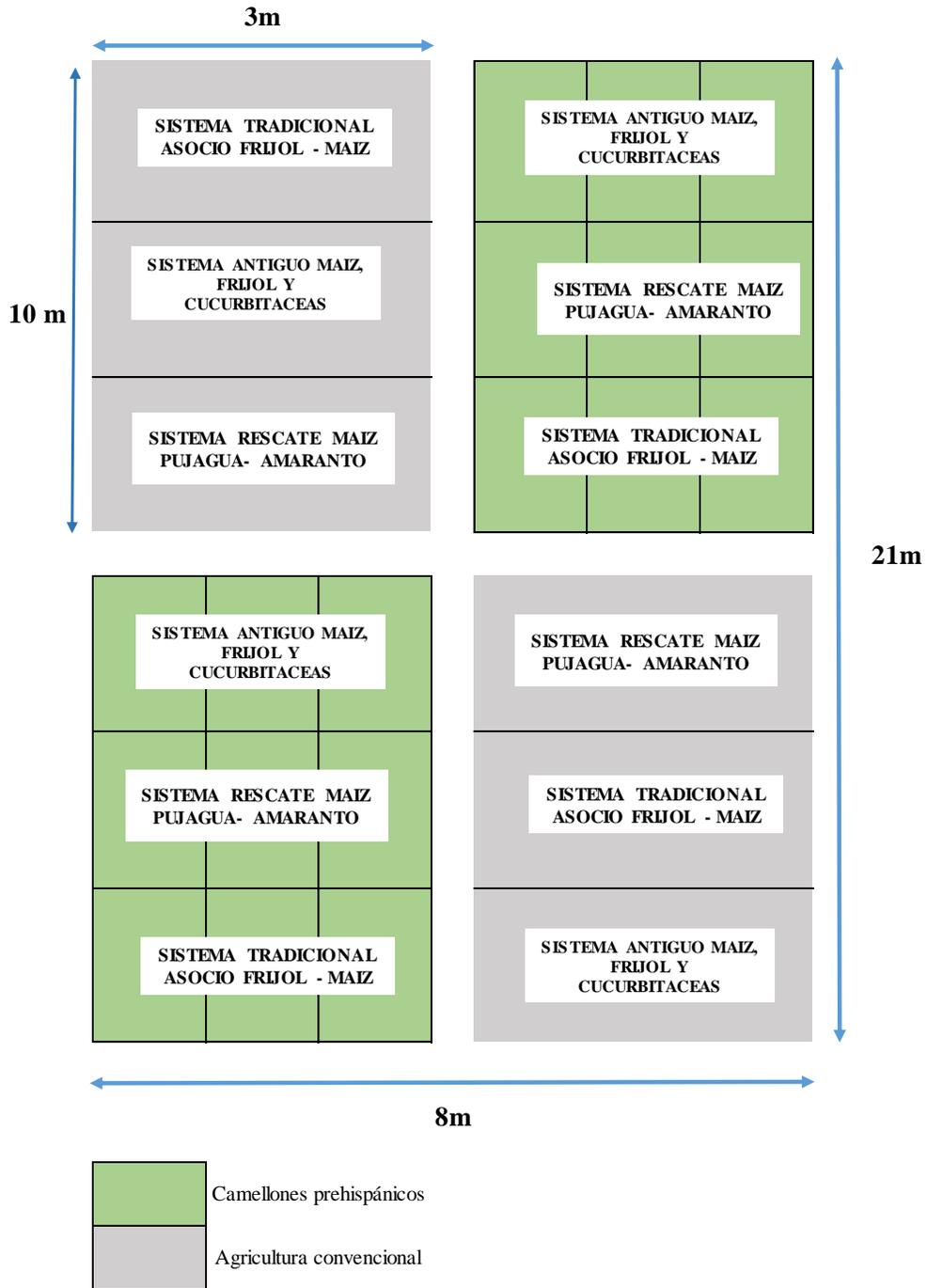
- Abbott, L.K., & Murphy, D.V. (2007). *Soil biological fertility a key to sustainable land use in agricultura*. ISBN 978-1-4020-6619-1
- Alonso Báez, M., y Aguirre Medina, J.F. (2010). *Efecto de la labranza de conservación sobre las propiedades del suelo*. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n2/2395-8030-tl-29-02-00113.pdf>
- Altieri M.A, (1999). *Agroecología Bases científicas para una agricultura sustentable*. Recuperado de <http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>
- Brady, N., & Weill, R. (2002). *Nature and Properties of Soil*. Pearson. 13th Ed. ISBN 9780130167637
- Cairo, P. (1995). *La fertilidad física del suelo y la Agricultura Orgánica del Trópico* (Curso de Postgrado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Dalrymple, A., Miller, S., & Fornstrom, K. (1993). *Soil water conservation and winter wheat yield in three fallow system*. 48: 53-57. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=6123463&pid=S2007-0934201200090001400006&lng=es
- Demuner Molina, G., Cadena Zapata, M., Campos Magaña, S.G., Zermeño González, A., y Sánchez Pérez, F.J. (2014). Efecto de labranza y mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol (2), 123-130. Recuperado de revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/download/468/396
- Denevan, W.M., (1970). *Aboriginal Drained-field Cultivation in the Americas*. doi: 169:647-654.
- Denevan, W.M. (1980). *La geografía cultural aborigen de los Llanos de Mojos*. Editorial Juventud, La Paz.
- Denevan, William M. (2001). *Cultivated Landscapes of Native Amazonia and the Andes*. Oxford University Press, Oxford. ISBN 0-19-925769-8.
- Díaz Zorita, M., Grove, J., Murdock, L., Herbeck, J., & Perfect, E. (2004). *Soil structural disturbance effects on crop yield and soil properties in a no-till production system*. doi 96-1651-1659.
- Erickson, C. (1991). *Agricultura en camellones prehispánicos en las tierras bajas de Bolivia: Posibilidades de desarrollo en el trópico húmedo*. Universidad de Pensilvania. Recuperado de <https://www.sas.upenn.edu/anthropology/system/files/Erickson1999Camellones.pdf>
- Erickson, C. (2000). *La Cuenca del lago Titicaca: Un paisaje Precolombino construido*. Columbia University Press, New York. Recuperado de <http://repository.upenn.edu>

- Erickson, C., Esteves, J., Michel, M., y Winkler, W. (1991). *Estudio preliminar sobre un reconocimiento arqueológico en Departamento del Beni, Bolivia*. Recuperado de https://www.sas.upenn.edu/~cerickso/from_ccat/fishweir/articles/Lomas.pdf
- Fassbender, H.W. (1984). *Química de suelos: Con énfasis en suelos de América Latina*. Recuperado de. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9793E/A9793E.PDF>
- Fassbender, H.W. (1987). *Modelos edafológicos de sistema agroforestales*. Recuperado de. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0813e/A0813e.pdf>
- García, L. (2007). *Texto básico fertilidad de suelo y fertilización de cultivos*. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Ghisolfi, E. (2011). *Contenidos de materia orgánica: relación con la fertilidad del suelo en siembra directa*. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/unanicaraguasp/reader.action?docID=10552588>
- Gil, R. (2002). Comportamiento físico-funcional de los suelos: Algunos criterios para la cuantificación y diagnóstico del comportamiento estructural del suelo, y su relación con la dinámica del agua y la producción de cultivos. *INTA Castelar*. Recuperado de <http://www.agroestrategias.com/pdf/SuelosElComportamientoFisicodelsuelo.pdf>
- Gliessman S.R. (2002). *Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Recuperado de <https://biowit.files.wordpress.com/2010/11/agroecologia-procesos-ecolc3b3gicos-en-agricultura-sostenible-stephen-r-gliessman.pdf>
- Havlin, J., Tisdale, S., Werner, N., & Beaton, J. (2016). *Soil Fertility and Fertilizers: An introduction to Nutrient Management*. Pearsons. 8th Ed. doi: 978-93-325-7034-4
- INIDE. (2008). Módulo: Territorio. Recuperado de http://www.inide.gob.ni/Anuarios/Anuario2008/ModuloI-Geografico/ModuloI_SeccionI.1.pdf
- Laboratorio de suelos y aguas Universidad Nacional Agraria LABSA-UNA. (2011). Criterios de clasificación según resultados de laboratorio. Managua, Nicaragua.
- Lanfranco, J., Pellegrini, A. E., y Cattani, V. M. (2014). *Contenidos de edafología, génesis, evolución y propiedades físico químicas del suelo*. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/unanicaraguasp/reader.action?docID=11201642>
- Lhomme J.P., y Vacher J.J., (2003). *La Mitigación de heladas en los camellones del altiplano andino*. 32 (2); doi: 10-400-0
- Mayer, A. (2012). *Siembra sobre camellones una alternativa para aumentar los rendimientos*. Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Noticias/2012/11/21/Siembra-sobre-camellones-una-alternativa-para-aumentar-los-rendimientos.aspx>

- Medina, J., Volke, V., y González, J. (2009). *Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en luvisoles del estado de Campeche*. Recuperado de <http://site.ebrary.com/lib/unanicaraguasp/reader.action?ppg=4&docID=10293957&tm=1505191588522>
- Mendoza, A, E. (2013). Riego por goteo. Recuperado de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf>
- Navarro García, G.; y Navarro García, S. (2013). *Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. 3^{ra} ed. ISBN 978-84-8476-656-8
- Ortega, E. (1987). *Química de suelos*. Chapingo, México.
- Parsons, J.J. (1973). *Campos de cultivos prehistóricos con camellones parados en la cuenca del río Guayas*. Ecuador. Publicación de la Casa de la Cultura Ecuatoriana, Guayaquil, Ecuador.
- Sánchez de Lozada, D., Baveye, P., & Riha, S. (1998). Heat and moisture dynamics in raised field systems of the Lake Titicaca region (Bolivia). *Agricultural and Forest Meteorology*. Recuperado de [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923\(98\)00100-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1923(98)00100-2)
- Sánchez, V. (2007). *Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas: Conceptos Básicos*. Recuperado de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>
- Smith, C. T., Denevan, W. M., & Hamilton, P. (1968). Andent Ridged Fields in the region of Lake Titicaca. *Geographical Journal*.
- Suquilanda Valdivieso, M. (2017). *Manual Agroecológico de suelos*. MAGAP. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://balcon.magap.gob.ec>
- Valdez, F. (2006). *Agricultura Ancestral Camellones y Albarradas: Contexto Social, usos y retos del pasado y del presente*. Ed. Abya-Yala Quito, Ecuador. Recuperado de http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-03/010039069.pdf
- Yoo, G.; & Wander, M. (2006). *Influence of tillage practices on soil structural controls over carbon mineralization*. doi: 70-651-659

VII. ANEXOS

Anexo 1. Plano de campo del ensayo sobre camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.



Anexo 2. Camellones prehispánicos, Finca El Madroño, Diriamba, Carazo, 2017



Anexo 3. Incorporación de cobertura muerta como fuente de materia orgánica, Finca El Madroño, Diriamba, Carazo, 2017.



Anexo 4. Remoción de suelo en parcelas de labranza convencional Finca El Madroño, Diriamba, Carazo, 2017.



Anexo 5. Rangos de clasificación de densidad aparente.

<i>Da (g cm⁻³)</i>	
<1	Muy baja
1-1.2	Baja
1.2 – 1.45	Mediana
1.45– 1.60	Alta
>1.60	Muy alta

Fuente: Laboratorio de suelo y agua (LABSA-UNA), 2011

Anexo 6. Toma de datos de temperatura de suelo con un termómetro de mercurio 45 °C a una profundidad de 20 cm, Finca El Madroño, Diriamba, Carazo, 2017.



Anexo 7. Toma de muestra de suelo en un cilindro biselado para la variable densidad aparente, Finca El Madroño, Diriamba, Carazo, 2017.



Anexo 8. Datos de temperatura y humedad cada 15 días en camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

Temperatura °C	Jun	Jun	Jul	Jul	Ago	Ago	Sep	Sep	Sep	Oct	Oct	Nov
CP	27	26	26	26	26	26	25	25	25	24	23	24
AC	28	25	26	26	25	25	26	25	25	25	23	25
Humedad %	Jun	Jun	Jul	Jul	Ago	Ago	Sep	Sep	Oct	Oct	Nov	Nov
CP	50	44	53	9	32	35	33	48	28	22	26	24
AC	48	46	50	9	32	32	32	47	29	27	29	28

Nota. CP: Camellones prehispánicos, AC: Agricultura convencional

Anexo 9. Resultados de análisis de T-Student de las variables hidrofísicas en estudio al comparar camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

Variable	Media		T – Student	Valor – P
	CP	AC		
Temperatura (°C)	25.25	25.33	-0.18	0.860
Humedad %	34.50	34.60	-0.02	0.987
Densidad aparente (g cm³)	00.87	00.90	-0.27	0.815
Capacidad de campo %	34.17	35.01	-0.23	0.831
PMP	15.48	14.99	0.21	0.854

Nota. CP: Camellones prehispánicos, AC: Agricultura convencional

Anexo 10. Resultados de análisis de T-Student de las variables Químicas en estudio al comparar camellones prehispánicos y agricultura convencional, El Madroño, Diriamba, 2017.

Variable	Media		T - Student	Valor - P
	CP	AC		
Total de pH	6.47	6.210	1.09	0.356
Total de MO	5.53	5.583	-0.08	0.944
Total de N	0.28	0.276	0.09	0.931
Total de P	5.72	3.707	2.02	0.181
Total de K	2.19	1.850	0.59	0.596

Nota. MO: Materia orgánica, N: Nitrógeno P: Fósforo K: Potasio.