

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TRABAJO DE DIPLOMA

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES AGRÍCOLAS DE UN
SUELO PARDO CON CARBONATO BAJO RIEGO POR ASPERSIÓN

Autor: Alberto Pérez Herrera

Tutor: Dr. C. Elvis López Bravo

Santa Clara, 2015

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Unidad Básica de Producción Cooperativa UBPC-3 “Jesús Menéndez” de la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú” con el objetivo de determinar las principales propiedades agrícolas del suelo bajo riego destinado a los cultivos de frijol y boniato. Se tomaron seis muestras de suelo a profundidades entre 0 y 60 cm en ocho puntos distribuidos uniformemente en los dos cultivos estudiados a las cuales se determinó la humedad de los mismos. Se determinó además el porcentaje de materia orgánica, fósforo y potasio a través de análisis químicos. Se realizó el estudio de compactación del suelo a diferentes profundidades así como la velocidad de infiltración básica de los mismos. Se obtuvo como resultado las propiedades químicas de los suelos pardos con carbonato. Los resultados mostraron valores muy altos de fósforo y el potasio y valores medios de MO. Así mismo la velocidad de infiltración es elevada considerando el tipo de suelo. Los análisis estadísticos reflejaron que existen diferencias significativas entre los resultados de la humedad y la compactación a diferentes profundidades.

ABSTRACT

This research was conducted at Unidad Básica de Producción Cooperativa UBPC-3 "Jesús Menéndez" in the Agriculture Enterprise "Valle del Yabú" in order to determine the main properties of the soil under irrigation system dedicated to beans and sweet potato crops. Six samples of soil were taken at depths between 0 and 60 cm in eight points, uniformly distributed in the two crops under studied getting the soil moisture by depth. The average of organic matter, phosphorus and potassium through chemical analyzes were also determined. The study of soil compaction at different depths and basic infiltration speed were performed. The chemical properties of soils with carbonate were obtained as a result. The main result showed very high levels of potassium and phosphorus and median values of OM. Also the infiltration rate is high considering the type of the soil. The analyses showed statistical significant differences between the results of moisture and compaction at the different depths.

DEDICATORIA

- *A mi abuela, que siempre ha estado a mi lado en los momentos difíciles y por ella he llegado hasta aquí.*
- *A mi papá que me ha apoyado en todo momento.*
- *A mi mamá y mis tías, que su apoyo siempre ha estado presente.*
- *A mi familia, mis amigos y aquellos que siempre han estado en las buenas y en las malas junto a mí.*
- *Especialmente a mi tutor Elvis López Bravo por sus orientaciones precisas y su ayuda incondicional.*

AGRADECIMIENTOS

- *A todos los trabajadores de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” y en especial al operario de la máquina de riego de pivote central.*
- *De manera general a todas aquellas personas que me ayudaron en el desarrollo, y demás fases del presente Trabajo de curso.*
- *Especialmente al Doctor en Ciencias Elvis López Bravo tanto por su labor de tutor como por su papel de educador. Por haber estado dispuesto a atender cualquier duda en el momento más difícil.*
- *A todos muchas Gracias.*

ÍNDICE

RESUMEN.....	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE	IV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	4
1.1 Principales características de los suelos agrícolas	4
1.2 Efectos de la materia orgánica en la estructura del suelo.....	6
1.3 Particularidades agrotécnicas del cultivo del frijol	7
1.4 Particularidades agrotécnicas del cultivo del boniato	8
1.5 Los sistemas de riego por pivote central.....	10
CAPÍTULO 2	12
MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1 Metodología para la descripción del área de estudio.....	12
2.2 Metodología para el análisis químico de suelo	12
2.3 Metodología para el análisis hidrofísico del suelo	14
2.4 Metodología para la determinación de la densidad aparente y porosidad del suelo	15
2.5 Metodología para determinar la velocidad de infiltración de los suelos.....	16
2.6 Metodología para la determinación de la compactación del suelo	17
CAPÍTULO 3	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
3.1 Descripción del área de estudio	18

3.2 Resultado del análisis químico del suelo	20
3.3 Resultados del análisis hidrofísico del suelo	23
3.4 Resultados de la compactación del suelo.....	25
3.5 Resultados de la velocidad de infiltración.....	28
CONCLUSIONES.....	30
RECOMENDACIONES.....	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANEXOS.....	36

INTRODUCCIÓN

Los proyectos de riego en el mundo usan unos 3500 km³ de agua al año, del cual 74% se evapora por los cultivos. Esto es aproximadamente 80% de todo el uso humano de agua (4 400 km³ por año). El agua utilizada en el riego es más o menos 25% de los recursos totales disponibles de agua (14 000 km³) y 9% de todas las descargas anuales de los ríos en el ciclo hidrológico (40 000 km³) (Sundquis, 2007).

Del área total regado en el mundo 38% está equipado para el riego con agua subterránea, especialmente en la India (39 millones de ha), la China (19 millones de ha) y los Estados Unidos de América (17 millones de ha). El uso total del agua subterránea en el riego se estima en 545 km³/año. La extracción del agua subterránea en algunos países capitalistas es excesiva, conduciendo a la agotamiento del acuífero (Siebert *et al.*, 2010).

Lo que en Cuba la tecnología de riego que se está imponiendo por su productividad y relativamente fácil manejo es la del pivote central, pero la calidad del riego resultante en muchos lugares, no está acorde con las posibilidades de las mismas. Por una parte, las máquinas se operan sin una adecuada distribución de boquillas según establece la carta de las mismas y por otra parte, no existe una metodología aprobada por el productor sobre el manejo del régimen de riego con el equipamiento moderno que posee. La metodología que se propone, se basa en la dirección del riego por métodos agrometeorológicos, los cuales, han demostrado sus posibilidades reales tanto en Europa como en América y en Cuba (Pacheco, 2008)

La programación de riego satisface todos los requerimientos de los cultivos en cuanto al agua, se puede denominar como programación de riego biológicamente óptima y debe conducir en condiciones donde no existan limitaciones agrotécnicas ni de otros factores productivos al rendimiento máximo, luego este rendimiento debe lograrse cuando el cultivo alcanza la evapotranspiración máxima que ya conocemos con anterioridad (García y Fontova, 1998).

La temperatura es un factor regulador del proceso biológico de las diferentes especies cultivadas, por lo que ella con sus variaciones tiene un importante papel sobre la evaporación y la transpiración. La variación de este elemento no es amplia, siendo para países del trópico la temperatura media del mes más frío (enero) 20°C y del más caliente (agosto) 29°C. Al igual que la temperatura juega un papel decisivo en el proceso fisiológico de los cultivos y es el elemento fundamental a considerar en el proceso de evaporación del agua. Pues es el sol a través de su radiación nuestro suministro de energía. Su variación es de 230 a 580 cal/cm²/día, los valores más altos se presentan en el periodo marzo-mayo. Otro factor influyente es la humedad relativa del aire en el mayor o menor consumo de agua por los cultivos. Pues cuando la humedad relativa es alta, la atmósfera estará saturada de humedad y por lo tanto el déficit de humedad del aire estará en cero o muy cerca del mismo impidiendo la evapotranspiración de los cultivos (Tarjuelo, 1996).

Las propiedades de los suelos influyen en la programación del riego, desde el punto de vista, de que el suelo es el medio donde se desarrollan los cultivos y es el reservorio natural para la captación y entrega de agua a los cultivos. Sus propiedades físicas son las de mayor influencia en los volúmenes posibles de almacenar y por tanto, en el intervalo entre una aplicación y otra (Fontova, 2001).

De ahí la importancia de dicha investigación para poder solucionar el siguiente **problema científico**: ¿Cómo determinar las principales propiedades agrícolas de un suelo pardo con carbonato bajo riego para realizar un manejo más efectivo del mismo en la UBPC-3 “Jesús Menéndez” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”?

Objeto de estudio: Propiedades agrícolas de los suelo.

Hipótesis: Si se determinan los valores de humedad del suelo, velocidad de infiltración y compactación a diferentes profundidades así como los contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio es posible establecer la relación de estos con las tecnologías del cultivo empleadas.

Objetivo general: Determinar las principales propiedades químicas y físicas de un suelo pardo con carbonato bajo riego por aspersión para las condiciones de cultivo de boniato y frijol.

Objetivos específicos:

1. Describir las principales características del sistema productivo de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”.
2. Determinar los contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio en los suelos destinados al cultivo de frijol y boniato.
3. Determinar la densidad aparente y porosidad del suelo.
4. Obtener las curvas de humedad del suelo en función de la profundidad del mismo.
5. Determinar la compactación del suelo a diferentes profundidades y correlacionar sus valores con las respectivas curvas de humedad.
6. Determinar la velocidad de infiltración del suelo para las diferentes condiciones de cultivo.

CAPÍTULO 1

ESTADO ACTUAL DEL DE TEMA

1.1 Principales características de los suelos agrícolas

Los suelos cambian mucho de un lugar a otro. La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por la cantidad de tiempo en que ha actuado la meteorización, por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas (Enríquez y Grevenson, 2000).

Las variaciones del suelo en la naturaleza son graduales, excepto las derivadas de desastres naturales. Sin embargo, el cultivo de la tierra priva al suelo de su cubierta vegetal y de mucha de su protección contra la erosión del agua y del viento, por lo que estos cambios pueden ser más rápidos. Los agricultores han tenido que desarrollar métodos para prevenir la alteración perjudicial del suelo debida al cultivo excesivo y para reconstruir suelos que ya han sido alterados con graves daños (Cairo y Herrera, 2005).

Según Hernández *et al.* (2006), las causas de la degradación o destrucción de los suelos agrícola en Cuba son:

Meteorización: consiste en la alteración que experimentan las rocas en contacto con el agua, el aire y los seres vivos.

Meteorización física o mecánica: es aquella que se produce cuando, al bajar las temperaturas que se encuentran en las grietas de las rocas, se congelan con ella, aumenta su volumen y provoca la fractura de las rocas.

Meteorización química: es aquella que se produce cuando los materiales rocosos reaccionan con el agua o con las sustancias disueltas en ella.

Erosión: consiste en el desgaste y fragmentación de los materiales de la superficie terrestre por acción del agua, el viento, etc. Los fragmentos que se desprenden reciben el nombre de detritos.

Transporte: consiste en el traslado de los detritos de un lugar a otro.

Sedimentación: consiste en el depósito de los materiales transportados, reciben el nombre de sedimentos, y cuando estos sedimentos se cementan originan las rocas sedimentarias. Los suelos se pueden destruir por las lluvias. Estas van lavando el suelo, quitándole todos los nutrientes que necesita para poder ser fértil, los árboles no pueden crecer ahí y se produce una deforestación que conlleva como consecuencia la desertificación.

El suelo puede formarse y evolucionar según Foth (1985), a partir de la mayor parte de los materiales rocosos, siempre que permanezcan en una determinada posición el tiempo suficiente para permitir las anteriores etapas. Se pueden diferenciar:

Suelos autóctonos: formados a partir de la alteración de la roca que tienen debajo.

Suelos alóctonos: formados con materiales provenientes de lugares separados. Son principalmente suelos de fondos de valle cuya matriz mineral procede de la erosión de las laderas.

El suelo posee cierta capacidad para permitir el paso de la maquinaria agrícola causando la menor compactación según González *et al.* (2011). Para conocer esta capacidad se hace necesario hacer un estudio del comportamiento de su resistencia mecánica *in situ*, lo cual se determina estudiando el comportamiento de sus propiedades físico-mecánicas, caracterizadas internacionalmente por:

- El índice de cono para los diferentes estados estructurales y de humedad.
- Coeficiente Volumétrico de Resistencia a Compresión o el aplastamiento para los diferentes estados estructurales y de humedad.
- Estado estructural del suelo, caracterizado por su densidad aparente.
- El contenido de agua o humedad en los poros del suelo.
- La cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo, en las condiciones de alta humedad.
- La capacidad de compactación ante diferentes esfuerzos (energías) y condiciones de humedad.

1.2 Efectos de la materia orgánica en la estructura del suelo

La velocidad de las transformaciones de los residuos orgánicos depende de la naturaleza y composición de los mismos: rápida en residuos vegetales verdes, jóvenes y ricos en nitrógeno, azúcares solubles y sales minerales, y lenta en residuos viejos, secos, ricos en celulosa y lignina y pobres en azúcares solubles y en nitrógeno. En cualquiera de los casos, no obstante, el proceso requiere disponer de tiempo suficiente antes de la siembra o plantación del siguiente cultivo. De lo contrario se puede presentar un efecto depresivo en el cultivo posterior como resultado de la baja disponibilidad de nitrógeno (hambre de nitrógeno) debida a su inmovilización por los microorganismos y de la reducción del crecimiento radicular debida al efecto inhibitor de la microflora de descomposición. Los anteriores inconvenientes pueden ser obviados incorporando nitrógeno orgánico o mineral al residuo, siempre y cuando se disponga de tiempo suficiente entre cultivos (Alfonso y Monedero, 2004).

Cuando los factores restrictivos son muy evidentes (período intercultivo demasiado corto, baja disponibilidad de agua, incidencia de patógenos y/o parásitos de riesgo, riesgo evidente de fototoxicidad, alta dificultad para el condicionamiento físico del material, etc.) la mejor alternativa consiste en retirar del campo los residuos y someterlos a un proceso de compostaje, después de aplicar los tratamientos de acondicionamiento previo. El compost de calidad así obtenido podrá ser incorporado al suelo posteriormente (Martínez, 2002).

La materia orgánica juega una importante función en el comportamiento físico de los suelos. Contribuye a la formación y estabilidad de los agregados más que ningún otro factor. Dicha agregación aumenta la porosidad, aireación, infiltración y percolación del agua, disminuye la escorrentía y el riesgo a la erosión. Además mejora la capacidad de retención de humedad, disminuyendo la densidad aparente del suelo, lo que permite un mayor desarrollo y penetración de las raíces según Magdoff (1997), lo que mejora la porosidad en los suelos compactados según Kolmans y Vázquez (1996) citado por León (2003).

La materia orgánica tiene un papel importante en la mejora de la disponibilidad de nutrientes e incremento de la capacidad de intercambio catiónico. Contiene un

número elevado de grupos funcionales (carboxilos, hidroxilos, aminoácidos, aminocetonas y aldehídos) que son los que proporcionan capacidad de intercambio catiónico contribuyendo por tanto a aumentarla en los suelos con bajo contenido de arcillas según Cairo y Fundora (1995) citado por León (2003).

La materia orgánica ayuda a retener los nutrientes, mejora la nutrición en fósforo, posiblemente a través de favorecer el desarrollo de microorganismos que actúan sobre fosfatos y también juega un importante papel en la mejora de la disponibilidad de micronutrientes (principalmente hierro, manganeso, zinc y cobre) así como la reducción de los efectos tóxicos de los cationes libres como el aluminio y por supuesto sobre la disponibilidad de nitrógeno y una notable influencia en la concepción del pH del suelo (Altieri, 1996).

1.3 Particularidades agrotécnicas del cultivo del frijol

El frijol común (*Pharsalus vulgarisL.*), constituye un plato básico de la alimentación del cubano. El frijol requiere de temperaturas moderadas (20 - 28 °C), suficientes (pero no excesivas) lluvias o riegos durante la fase vegetativa y parte de la reproductiva, un periodo seco durante la fase de maduración y cosecha y que la humedad relativa del aire no sea mayor a 80 - 85% por varios días consecutivos. Bajo las condiciones de Cuba (MINAGRI, 1983).

Las variables climáticas de temperatura y humedad del aire (en las zonas no montañosas) se pueden alcanzar en el periodo comprendido entre septiembre y abril y en cierta medida durante una parte del mes de mayo. Estas variables climáticas tienen una gran influencia en la productividad, la cual es relativamente baja comparada con otros países con mayor nivel de desarrollo, promediando entre 0.6 y 0.7 toneladas por hectárea. Teniendo en cuenta que la duración del ciclo de desarrollo del frijol oscila entre 75 y 100 días para la mayoría de las variedades (Negrín *et al.*, 2013)

Las temperaturas altas afectan la floración y la fecundación. Se adapta a muchos tipos de suelos, pero prefiere los de buen drenaje, tanto interno como superficial. No tolera la salinidad ni el encharcamiento. El tipo de suelo puede afectar la calidad culinaria del grano. Exige una humedad sensible tanto al exceso como al

déficit de la misma en el suelo, así como a la humedad relativa alta del aire por varios días consecutivos, lo que crea condiciones favorable para el desarrollo de determinadas enfermedades bacterianas y fungosas (Aleman *et al.*, 2008).

La densidad de este cultivo es de 200 000 a 300 000 plantas/ha con una distancia entre surcos o camellón desde 0.90 m hasta 0.35 m, en dependencia de la tecnología que se utilice en el manejo del mismo. El rendimiento se incrementa disminuyendo la distancia entre surcos hasta 0.45 m. plantas de 4 a 7 cm (chorrillo ligero) se necesitaran de 14 a 25 semillas por cada metro de surco o 2 a 3 semillas por nidos separados a 10-15 cm entre sí con un gasto de semilla de 45 kg/ha aproximadamente y 48 kg/ha en variedades de grano pequeño y de 96 kg/ha en variedades de grano grande (Quintero y Gil, 2012).

1.4 Particularidades agrotécnicas del cultivo del boniato

El boniato es una planta de la familia Convolvulaceae, y su nombre científico es *Ipomoea batatas*, es cultivada en gran parte del mundo por su raíz tuberosa comestible. Los rendimientos medios varían entre las 20 y 30 T/ha y una producción media por pie de 2 a 4 tubérculos con un peso que oscila entre los 200-400 gramos cada uno (Tilburg y Anne, 1994).

Es una planta tropical y no soporta las bajas temperaturas. Las condiciones idóneas para su cultivo son una temperatura media durante el periodo de crecimiento superior a los 21 °C, un ambiente húmedo con una humedad relativa de 80-85% y buena luminosidad. La temperatura mínima de crecimiento es 12 °C, soporta bien el calor, tolera los fuertes vientos debido a su porte rastrero y a la flexibilidad de sus tallos. Se adapta a suelos con distintas características físicas, desarrollándose mejor en los arenosos, pero pudiendo cultivarse en los arcillosos con tal de que estén bien granulados y la plantación se haga en camellones. Los suelos de textura gruesa, sueltos, desmenuzables, granulados y con buen drenaje, son los mejores. La textura ideal es franco-arenosa, junto a una estructura granular del suelo. Tolerancia los suelos moderadamente ácidos, con pH comprendidos entre 4,5 a 7,5; siendo el pH óptimo 6 (Rodríguez, 2010).

La época de plantación según la zona de cultivo, pueden variar las épocas, en general se realiza durante los meses de abril y junio (Díaz *et al.*, 2013). En los climas más cálidos puede escogerse cualquier época, siempre durante la estación seca, aportando riegos abundantes. El marco de plantación es la distancia entre líneas es normalmente de 95 cm. La separación de las plantas dentro de la línea oscila entre 30 y 40 cm, lo que supone una densidad que varía entre 35.000 a 26.300 plantas/ha. La distancia entre plantas variará en función del vigor y de la precocidad de la variedad a cultivar. A distancias mayores se obtienen tubérculos de mayor tamaño. La plantación se realiza por medio del cuchareo para la plantación de las puntas o esquejes (trozos de ramas de 30-35 cm y provistas de tres o cuatro yemas por lo menos) (Morales, 2006).

El esqueje se plantará de forma que entre dos o tres nudos queden enterrados y variará según el vigor de la variedad elegida. Cuanto mayor sea el número de nudos bajo tierra, mayor es el número de frutos (tubérculos), ya que éstos se originan de las raíces que emiten las yemas situadas en cada nudo (Martí *et al.*, 2011).

Normalmente se realiza un abonado antes de la plantación o se complementa con el procedente del estercolado y abono mineral que recibe del cultivo precedente. La batata es exigente en potasio, poco en nitrógeno y materias orgánicas nitrogenadas y discreta en cuanto al fósforo. Se recomiendan equilibrios 1:2:3 en dosis de 270 Kg de elementos fertilizantes por hectárea. Esto corresponde a 500 Kg/ha de complejo 9-18-27 o a la siguiente formulación con abonos simples tales como: el sulfato amónico del 21%: 220 kg, el superfosfato de cal del 18%: 500 kg y el sulfato potásico del 50%: 280 kg (Morales, 2002).

El boniato precisa de suelos húmedos, sobre todo cuando se realiza la plantación de los esquejes o puntas, para favorecer el enraizamiento, en las primeras fases del cultivo, y en general a lo largo de todo el ciclo. Una humedad excesiva puede provocar pérdidas de producciones cuantitativas y cualitativas. El boniato es una planta moderadamente tolerante a la sequía, a pesar de lo cual responde productivamente al riego. Respecto al número de riegos serán suficientes tres o cuatro en los cuatro o cinco meses que dura el cultivo, pero si el clima o la

estación fuesen muy seca se darán hasta ocho o nueve riegos aplicados cada quince días. Los riegos se realizan por superficie, inundando los surcos en los que se ha dividido la parcela (Rodríguez, 2010).

1.5 Los sistemas de riego por pivote central

El empleo de máquinas de pivote central para el riego en la agricultura ha alcanzado una gran popularidad entre los productores. La misma se basa en una máquina que rota en círculo alrededor de una estructura base en el centro del campo regado. La estructura base de pivote es también la que permite el ingreso del agua y potencia al equipo y es sostén del tablero control. Las estructuras base son generalmente permanentes en sistemas grandes, pero pueden ser trasladada en sistemas más pequeños. Las áreas regadas por los equipos pueden ser extendidos adicionando un cañón final relativamente (Requena y Martínez, 2010).

El sistema de esquina puede ser instalado en el pivote para aumentar el área de riego en las esquinas u otras zonas no simétricas del campo y consiste en una torre adicional y un sistema de tuberías que es conectada a la última torre del sistema principal. La torre del sistema de esquina generalmente tiene un sistema guía que detecta señales de radio de baja frecuencia emitidas por un alambre enterrado bajo el curso de la torre. Las señales son recibidas por una antena y llegan a un microprocesador el cual continuamente monitorea y activa los motores conductores. Los aspersores en el sistema de esquina, son regularmente controlados por el mismo microprocesador el cual también activa válvulas solenoides individuales dependiendo de su ubicación con respecto a la torre final y el borde del campo (González, 2004).

El costo incremental por hectárea para suelo adicional regado por un sistema de esquina podría llegar a ser tres veces mayor que el área regada por el sistema principal. Así, el sistema de esquina se justifica sólo cuando el valor del suelo el alto o en condiciones donde el suelo es escaso y el agua abundante. Además, el sistema de esquina tiene un alto costo de mantención debido a su complejidad y cantidad de partes móviles. En general un sistema de esquina debe incluirse sólo después de un riguroso análisis económico. El sistema de cañón de riego final es

de alta presión y generalmente usado para extender el área en las esquinas de terrenos cuadrados. Este sistema es una alternativa de bajo costo para reemplazar al sistema de esquinas (Merriam y Keller, 1998).

Considerando la cantidad de suelo regado por un pequeño aumento en radio, los cañones finales son una barata forma de adicionar hectáreas de suelo regado. Sin embargo, no está exento de problemas. Los cañones finales son básicamente un gran aspersor único, por lo que la profundidad de aplicación disminuye con la distancia y puede provocar un severo estrés en los bordes del terreno. Esto puede no ser significativo en praderas, pero puede ser un gran problema cuando la condición de déficit de humedad afecta negativamente la calidad del cultivo. Bombas elevadoras de presión son necesarias para operar el cañón final (González, 2004).

El alto grado de automatización, generado por el avance tecnológico de los pivotes centrales en el último tiempo, ha permitido desarrollar sistemas que controlen el funcionamiento total del equipo en forma completa desde un panel central de control o a través de acceso a distancia (Alonso, 2012).

El panel de control se ubica generalmente en la estructura base o centro del pivote o en un costado del predio. Este permite la programación electrónica de todas las funciones que es capaz de realizar el equipo. Los telemandos operan a distancia los pivotes utilizando para ello una línea telefónica, un teléfono celular o una radio de banda comercial. La información disponible en este sistema permite determinar condiciones de trabajo, como por ejemplo: presión del sistema, dirección de la marcha (atrás o adelante), funcionamiento en húmedo, funcionamiento en seco, velocidad del sistema (%), tiempo de funcionamiento, caudal, velocidad actual del viento (con sensor de viento), acumulación de aguas lluvias (con sensor de lluvia) (González, 2004).

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología para la descripción del área de estudio

Para caracterizar el área de estudio se realizaron visitas dirigidas a observar los diferentes aspectos de la actividad productiva de la UBPC-3 “Jesús Menéndez” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”. Empleando los sistemas de georeferenciación así como se revisaron los documentos normativos de la entidad y estadísticas productivas se constataron los principales datos que identifican esta entidad productiva tales como: ubicación, tipo suelos, volúmenes y tipos de cultivos predominantes, área bajo riego, tecnologías de riego y estructura administrativa. Se realizó además la revisión de revistas y manuales de la máquinas de pivote central para describir sus principales características.

2.2 Metodología para el análisis químico de suelo

Para el estudio se realizó el análisis químico de materia orgánica, fósforo y potasio tomando muestras a tres profundidades de suelo (0-10 cm; 10-20 cm; 20-40 cm) en los cultivos de frijol y boniato, los cuales ocupan el 100% del suelo bajo riego con la máquina de Pivote central perteneciente al campo 330.

Las muestras de suelo se obtuvieron empleando una barrena agrológica en 8 puntos distribuidos en cuadrantes de 100x100 m ubicados al centro del área cultivada. El estudio de la composición química se realizó según las Normas Ramales de la Agricultura (NRAG, 1980) en los laboratorios de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.

Determinación de los óxidos de fósforo y potasio

El P_2O_5 se determinó por colorimetría y el K_2O por fotometría de llama, para lo cual se emplearon 4 g de suelo previamente molido y tamizado a 0,5 mm y sometido a una solución extractiva de ácido sulfúrico (Figura 2.1).



Figura 2.1 Determinación de fósforo y potasio.

Materia Orgánica

La materia orgánica (MO) se determinó mediante el método colorimétrico de Walkey y Black a partir de 1 g de suelo, previamente molido y tamizado a 0.5 mm y sometido a una reacción de oxidación con Cr_2K y ácido sulfúrico concentrado (Figura 2.2).



Figura 2.2 Determinación de materia orgánica

2.3 Metodología para el análisis hidrofísico del suelo

Siguiendo el método de muestreo explicado en la sección 2.2, lo que se tomaron 4 muestras de suelo en cada uno de los puntos de los cultivos de frijol y boniato a los cinco días después de aplicado el riego a seis profundidades entre 0 y 60 cm. La humedad del suelo se determinó en base a suelo seco (%hbss) donde se define como el peso perdido de una muestra húmeda en una estufa a 105°C durante 8 horas.

Para ello se empleó el método gravimétrico consiste en la determinación de la cantidad de agua perdida mediante la diferencia de peso de una muestra antes y después de ser situada en una estufa (Figura 2.2). Empleando una balanza analítica de precisión 0.0001 g.



Figura 2.3. Determinación de a humedad.

El cálculo se hace según las fórmulas:

$$\text{Agua} = P_{sh} - P_{ss} \quad (2.1)$$

$$P_{sh} = (P_{sh} + \text{tara}) - \text{tara} \quad (2.2)$$

$$P_{ss} = (P_{ss} + \text{tara}) - \text{tara} \quad (2.3)$$

Donde:

Agua: agua perdida, (g)

P_{sh} : peso del suelo húmedo, (g)

P_{ss} : peso del suelo seco, (g)

Tara: peso del pesa filtro, (g)

Esta cantidad de agua encontrada se expresa como humedad en base a suelo seco (%hbss) por la fórmula 4:

$$\%hbss = (\text{Agua} / P_{ss}) * 100 \quad (2.4)$$

Se procesaron los datos obtenidos por el método gravimétrico utilizando los software: StatGraphics y el EXCEL de Microsoft, realizándole el análisis estadístico para un nivel de confianza del 95 %. Una vez extraídos los resultados se elaboraron las tablas y se discutieron los valores obtenidos.

2.4 Metodología para la determinación de la densidad aparente y porosidad del suelo

Se utilizó el método del cilindro biselado descrito en las NC 3447-2003. Se tomaron 3 muestras de suelo en cada punto de referencia distribuidos en cuadrantes de 100x100 m ubicados al centro del área cultivada, a profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm utilizando para ello un cilindro de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro.

Se procedió al secado de las muestras mediante una estufa a una temperatura constante de 105 °C, determinándose su masa con la utilización de una balanza con valor de división no mayor que 0,0001 g hasta obtener valores constantes de las masas de suelo.

La densidad aparente del suelo se calculó a través de la expresión:

$$D_a = G_n / V_c \quad (2.5)$$

Dónde:

Da: Densidad aparente del suelo, (g/cm³)

Gn: Masa de la muestra del suelo después de secada, (g)

Vc: Volumen del cilindro para la toma de muestra, (cm³)

Por su parte, la porosidad se calculó a partir del valor de la densidad aparente y la densidad real del suelo ($D_r = 2.65 \text{ g/cm}^3$) empleando la siguiente ecuación:

$$P = (1 - (D_a / D_r))100 \quad (2.6)$$

2.5 Metodología para determinar la velocidad de infiltración de los suelos

Se aplicó el método de los anillos infiltrómetros descrito por Cox (2006), el cual consistió en colocar dos cilindros concéntricos, siendo el diámetro del anillo externo de 50 cm y el interno de 30 cm y su altura de 40 cm, enterrados en el suelo a una profundidad de 15 cm.

La prueba se realizó por triplicado, colocando 3 juegos de anillos en triángulo y separados 5 m, se colocó un plástico en el cilindro interior y se adicionó una columna de agua de 12 cm de altura; seguidamente se instaló la regla graduada en cm en uno de los bordes del cilindro interno. Se colocó agua en el espacio entre el cilindro exterior y el interior y se dejó que penetre durante 3 minutos, donde luego de esto se retiró el plástico del cilindro interior y se empezó a contabilizar el tiempo para la prueba.

Después de iniciada la penetración de agua en el cilindro interno, se hizo la primera lectura en la escala para establecer cuánto bajó la lámina de agua y en adelante, se continuo haciendo lecturas de tiempo y de descenso de la columna de agua en el cilindro interno, espaciando los intervalos de tiempo a medida que transcurrió la prueba y teniendo la precaución de no dejar que la columna de agua bajara de 7 cm, reponiendo con agua cuando llegue a éste punto hasta completar los 12 cm iniciales. Las lecturas de tiempo y entrada de agua se realizaron hasta que el agua entró a una rata más o menos constante en el suelo y se aplicó la fórmula:

$$VI = 60 (li / it) \quad (2.7)$$

Dónde:

VI: Velocidad de infiltración, (cm/h)

li: Lámina infiltrada, (cm)

it: Intervalo de tiempo, (h)

2.6 Metodología para la determinación de la compactación del suelo

La compactación del suelo se determinó a través del índice de cono, la ubicación de las mediciones se realizó siguiendo el método expuesto en la sección 2.2. En cada punto de cada cultivo se tomaron cuatro mediciones a seis profundidades de 0 a 60 cm para lo cual se construyó de forma progresiva calicatas en cada uno de los puntos seleccionados.

El penetrómetro utilizado cuenta de una punta con área de 1,3 cm², posee además un dinamómetro con una escala graduada en milímetros que indica la deformación permitiendo determinar la fuerza de penetración obteniéndose una lectura directa la cual se calcula mediante la ecuación 8.

$$Ic = F / Ac = (K * \Delta X) / (1000 * Ac) \quad (2.8)$$

Donde:

Ic: índice de cono en el intervalo y-z (Pa);

F: Esfuerzo con que se realiza la penetración (N);

K: Constante elástica del muelle del penetrómetro = 4.83 (N/m);

ΔX : Lectura de la deformación del muelle (mm);

Ac: Área frontal de la punta el cono (m²). 1,3 cm² = 0,00013 m²

2.7 Metodología para el análisis estadístico y correlación entre las variables

Se comparó el comportamiento del índice de cono de un cultivo con respecto al otro para determinar si existen o no diferencias significativas y de la humedad con respecto al *Ic* en cada cultivo para definir si existe alguna correlación ente ellos. El análisis se realizó para un nivel de confianza del 95 %. Los valores a las seis profundidades se tomaron en el campo cinco días después del riego. Una vez tomado los datos se elaboraron las tablas de la base de datos. Para el análisis y procesamiento de los mismos se utilizaron los software: StatGraphics y el EXCEL de Microsoft.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Descripción del área de estudio

El trabajo se realizó en la máquina de riego de pivote central del campo 330 de la UBPC 3 “Jesús Menéndez” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú”, ubicada en el km 4 ½ de la carretera a Sagua la Grande, municipio Santa Clara, provincia Villa Clara. Las coordenadas geográficas son: latitud de 22,43° y longitud de 78,98°, a una altura sobre el nivel del mar de 116,4 m. La UBPC cuenta con 64 trabajadores de ellos 6 técnico-administrativos y el resto vinculados a la producción. La entidad tiene una extensión total de 160 ha de las cuales 34.6 ha están bajo riego mediante el empleo de dos máquinas de pivote central (Figura 3.1), donde se alternan los cultivos de papa, frijol y boniato. Se emplea además el riego por aspersión y a niego para el cultivo de plátano y hortalizas.



Figura 3.1 Riego por Pivote Central, UBPC-3.

Los suelos son pardos con carbonatos, plastogénicos medianamente humificados, de 30 a 35 cm de profundidad efectiva y ligeramente ondulado. La textura es

arcillosa del tipo 2:1 lo que le proporciona una alta retención del agua. Según Jiménez (2015) Las características hidrofísicas no poseen grandes variaciones y la capacidad de campo sobre la base del suelo seco es de 52,7% y la densidad aparente es de 0.94 g/cm³. El pH oscila desde ácido hasta ligeramente alcalino con predominio del calcio entre los cationes intercambiables. Estos suelos presentan características de gleysación suave en horizontes (seudogley), provocadas por un sobre humedecimiento superficial del suelo (Cairo y Herrera, 2005).

El riego por aspersión se realiza mediante una máquina de pivote central eléctrica marca Western (Figura 3.2), con una longitud es de 239 m y un área total bajo riego de 19,40 ha.



Figura 3.2 Máquina eléctrica de pivote central marca Western.

La variedad sembrada en 10 ha del campo objeto estudio fue el frijol común (*Phaseolus vulgaris*L.) y la variedad plantada en 7,3 ha del campo fue el boniato (*Ipomoea batatas*) como muestra la Figura 3.3.



Figura 3.3 La variedad de frijol común (*Phaseolus vulgaris*L.) y boniato (*Ipomoea batatas*).

3.2 Resultado del análisis químico del suelo

Materia orgánica

Los análisis de materia orgánica como se muestra en la tabla 3.1 se encuentra entre 1.40 - 2.58% en el suelo que estaba cultivado de frijol y entre 1.08 - 2.58% suelo que está cultivado de boniato, obteniendo valores bajos y medios según MINAGRI (1984) citado por Cairo y Fundora (2005), Anexo 1. Los valores mínimos no son representativos cuando se halla el promedio de las muestras por profundidades como se muestra en la figura 3.4.

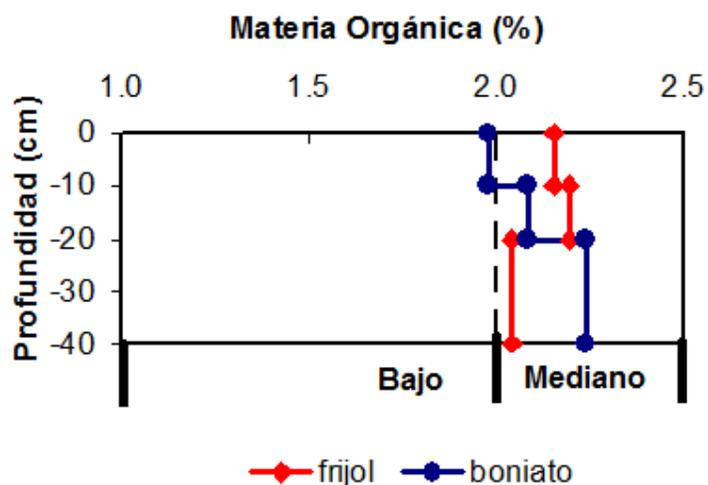


Figura 3.4 Materia orgánica del suelo para los dos cultivos en las diferentes profundidades.

Contenido de fósforo

En la figura 3.5 se muestra el P_2O_5 asimilable de ambos cultivos en las diferentes profundidades de suelo. En el cultivo de boniato incrementa de $56,16 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en la profundidad de 0 - 10 cm a $78,63 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en la profundidad de 20 - 40 cm y en el campo de frijol disminuyó de $64,25 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en la profundidad de 0 - 10 cm a $54,06 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en la profundidad de 20 - 40 cm como se muestra en la tabla 3.1.

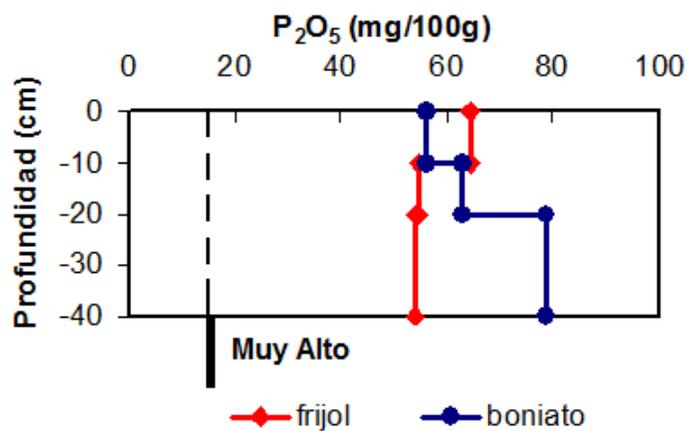


Figura 3.5 P_2O_5 asimilable para los dos cultivos en las diferentes profundidades del suelo.

No existe diferencia significativa de P_2O_5 entre las muestras a diferentes profundidades, ya que el fósforo asimilable está por encima de $15 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$, alcanzando todos los valores la misma evaluación de muy alto en ambos cultivos (Fundora y Yepis, 2000).

Contenido de Potasio

En la figura 3.6 se muestra el K_2O asimilable de ambos cultivos en las diferentes profundidades de suelo. En el cultivo de boniato existe diferencia significativa entre las profundidades siendo $48,18 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ en la profundidad de 0–10 cm, $23,67 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en la profundidad de 10-20 cm y $34,68 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en la profundidad de 20-40 cm. En el campo de frijol disminuyó de $38,16 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ en la profundidad de 0–10 cm a $36,77 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ en la profundidad de 20-40 cm como se muestra en la tabla 3.1. Se supera el valor medio de $20 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de K_2O en todas las muestras dando muy alto (Fundora y Yepis, 2000).

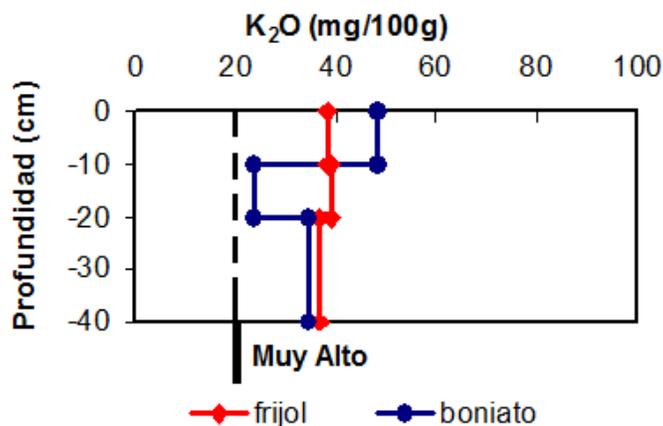


Figura 3.6 K_2O asimilable para los dos cultivos en las diferentes profundidades del suelo.

Los análisis químicos como muestra la tabla 3.1 dieron en contenido de materia orgánica de bajo a medio, muy altos en fósforo y muy altos potasio, por lo que se concuerda con estudios anteriores de suelos pardos con carbonato y características químicas similares con Quintero (1996), Cairo y Fundora (1995) y Martín y Quintero (1995). El contenido de potasio se señala (a, b) en la columna

del boniato lo que muestran diferencias estadísticas significativas por Tukey HSD a $p \leq 0.01$, no siendo así en los demás análisis de esta tabla 3.1.

Tabla 3.1 Propiedades químicas del suelo en los dos cultivos para las diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Cultivos					
	Frijol			Boniato		
	P ₂ O ₅ (mg/100g)	K ₂ O (mg/100g)	MO (%)	P ₂ O ₅ (mg/100g)	K ₂ O (mg/100g)	MO (%)
0 – 10	64.25	38.16	2.16	56.16	48.18 a	1.98
10 – 20	54.57	39.14	2.20	63.03	23.67 b	2.09
20 – 40	54.06	36.77	2.04	78.63	34.68 ab	2.24
EE=±	7.17	6.54	0.10	6.35	3.79 **	0.12
Maximo	27.67	16.66	1.4	16.46	16.66	1.08
Minimo	100.0	73.68	2.58	98.04	73.68	2.58

Las letras (a, b) en una misma columna muestran diferencias estadísticas significativas por Tukey HSD a $p \leq 0.05$. Para cuando existe dos asteriscos (**) hay diferencias estadísticas muy significativas a $p \leq 0.01$.

3.3 Resultados del análisis hidrofísico del suelo

Como parte del estudio realizado se determinaron los valores de densidad aparente y porosidad para cada uno de los suelos en los cultivos de boniato y frijol, los resultados se muestran en la tabla 3.2 donde los valores coinciden con estudios anteriores (Cairo y Fundora, 2005). Según se muestra en la tabla 3.2 el suelo cultivado de frijol mostró una densidad y porosidad menor que para el suelo cultivado de boniato:

Tabla 3.2 Valores de densidad aparente y porosidad.

Cultivo	Da, g/cm ³	Porosidad, %
Frijol	0.87	66.9
Boniato	0.96	63.5

Como se muestra en la figura 3.7 la humedad tiene un comportamiento diferente en los suelos destinados al cultivo del frijol y el boniato. Para el caso del frijol la humedad se mantiene constante hasta una profundidad de 40 cm, ya en la profundidad de 50 cm se aprecia una disminución, sin embargo a la profundidad máxima estudiada que fue de 60 cm aumenta nuevamente. En cambio la variación

de la humedad en el suelo destinado al cultivo del boniato muestra una tendencia a incrementar a medida que la profundidad aumenta. Las tendencias de las curvas obtenidas muestran que el suelo destinado al cultivo del boniato presenta una menor retención de la humedad lo cual puede estar condicionado por la tecnología de preparación del suelo empleada así como la mayor profundidad de las raíces.

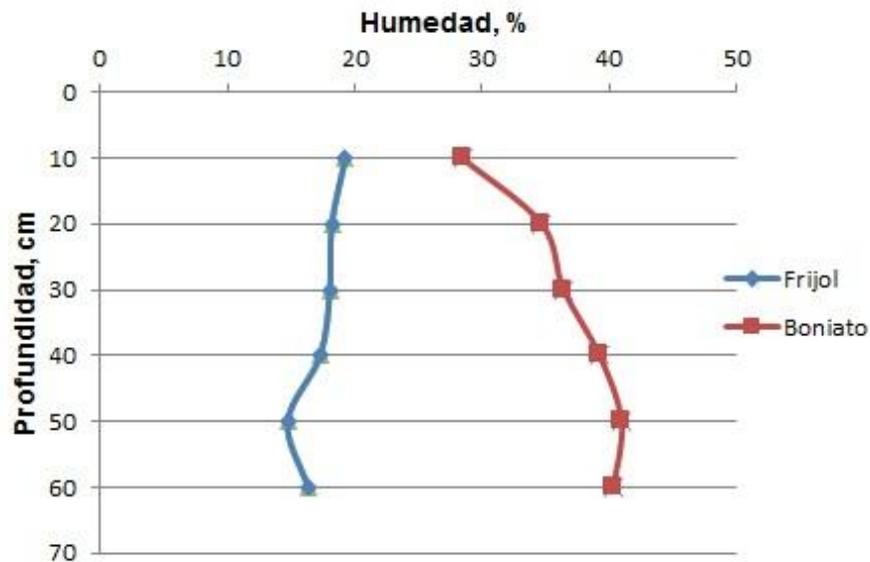


Figura 3.7 Curva de retención de humedad.

Los análisis estadísticos (tabla 3.3) muestran que el contenido de humedad va desde (a, b) en la columna del frijol lo que muestran diferencias estadísticas significativas por Tukey HSD a $p \leq 0.01$, no siendo así en el boniato que es más uniforme la distribución del agua en el suelo.

Tabla 3.3 La Humedad del suelo en los dos cultivos para las diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Cultivos	
	Frijol Humedad (%hbss)	Boniato Humedad (%hbss)
0 – 10	28.49 b	19.29
10 – 20	34.72 ab	18.21
20 – 30	36.44 a	18.06
30 – 40	39.28 a	17.30
40 – 50	41.00 a	14.74
50 – 60	40.38 a	16.34
EE=±	1.58**	1.70*
P-valor	0.0003	0.50

Las letras (a, b) en una misma columna muestran diferencias estadísticas significativas por Tukey HSD a $p \leq 0.05$. Para cuando existe dos asteriscos (**) hay diferencias estadísticas muy significativas a $p \leq 0.01$.

3.4 Resultados de la compactación del suelo

El estado de la compactación del suelo se realizó a través de las mediciones de índice de cono según se explica en el epígrafe 2.6, los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.8.

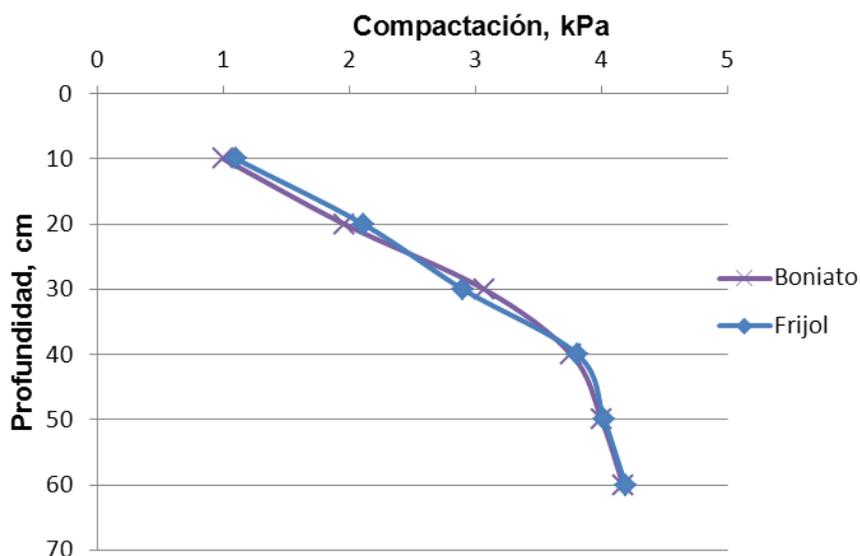


Figura 3.8 Índice de cono para los dos cultivos hasta los 60 cm de profundidad.

Como se aprecia en la figura 3.8 la compactación para ambos casos se comporta de forma lineal hasta una profundidad de 40 cm, decreciendo a mayor profundidad, con poca diferencia entre los índices de cono hasta 60 cm.

A partir del índice de cono y el porcentaje de humedad en base suelo seco se hizo una comparación para definir si existe semejanza como se muestra en la tabla 3.4 resultando que existe diferencia estadística significativa ($p \leq 0.01$) entre los valores a diferentes profundidades en los índices de cono de ambos cultivos y el porcentaje de humedad del frijol.

Tabla 3.4 Humedad e índice de cono a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Cultivos			
	Frijol Humedad (%hbss)	Ic (kPa)	Boniato Humedad(%hbss)	Ic (kPa)
0 – 10	28.49 b	1.10 d	19.29	1.00 d
10 – 20	34.72 ab	2.11 c	18.21	1.96 c
20 – 30	36.44 a	2.90 b	18.06	3.07 b
30 – 40	39.28 a	3.81 a	17.30	3.76 a
40 – 50	41.00 a	4.02 a	14.74	4.00 a
50 – 60	40.38 a	4.19 a	16.34	4.17 a
EE=±	1.58 **	0.073**	1.70	0.097**

Las letras (a, b, c) en una misma columna muestran diferencias estadísticas significativas por Kruskal – Wallis a $p \leq 0.05$. Para cuando existe un asterisco (*) hay diferencias estadísticas significativas a $p \leq 0.05$. Para cuando existe dos asteriscos (**) hay diferencias estadísticas muy significativas a $p \leq 0.01$.

En la figura 3.9 se muestra que el P-valor es menor que 0.05 existiendo una relación estadísticamente significativa entre % hbss y el Ic en el campo de frijol con un nivel de confianza del 95.0%. El análisis estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica un 56.1% de la variabilidad en % hbss del campo después de transformar a una escala recíproca para linealizar el modelo. El coeficiente de correlación es igual a 0.75, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

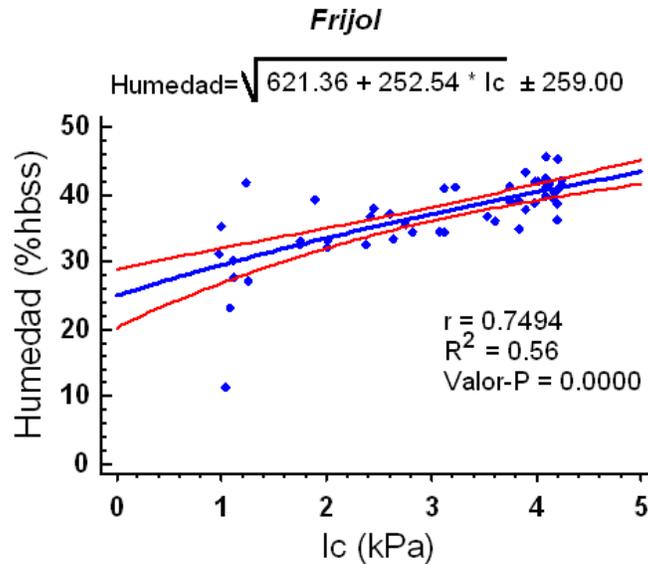


Figura 3.9 Relación entre la humedad del suelo y el índice de cono en el frijol.

En la figura 3.10 se muestra una gran dispersión de los puntos por ser el P-valor mayor o igual a 0,05, no hay una relación estadísticamente significativa entre % hbss y el Ic en el campo de boniato con un nivel de confianza del 95,0%. El análisis estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica un 5,9 % de la variabilidad en % hbss del campo de boniato. El coeficiente de correlación es igual a 0,24, indicando una relación relativamente débil entre las variables.

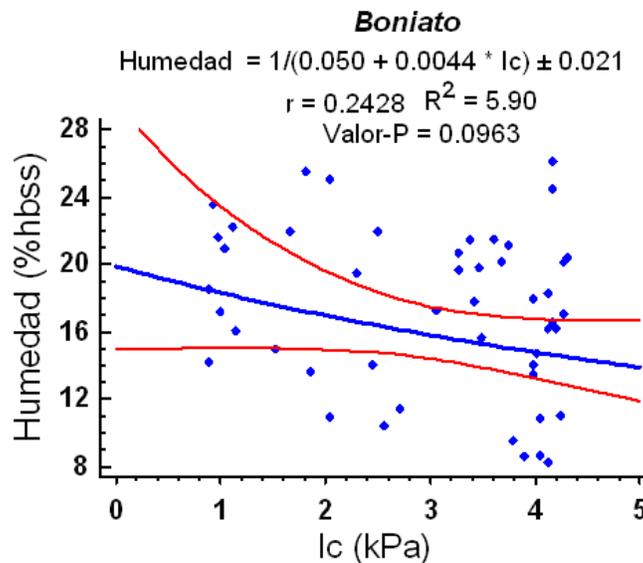


Figura 3.10 Relación entre la humedad del suelo y el índice de cono en el boniato.

3.5 Resultados de la velocidad de infiltración

Los valores de la velocidad de infiltración básica del agua en el suelo muestran que existen diferencias estadísticamente significativas entre el cultivo de frijol y el de boniato, dado que el P-valor es menor que el 0,05 para el nivel de confianza del 95%.

Tabla 3.5 Variación de la velocidad de infiltración.

Cultivo	Tiempo, min	Infiltración básica, cm/h
Frijol	174	14
Boniato	211	10,29

Como se muestra en la tabla 3.5, al comparar los cultivos se puede determinar que el valor más elevado para la velocidad de infiltración básica se presentó en la parcela de frijol, con un valor de 14 cm/h en comparación con la obtenida en el boniato la cual fue de 14 cm/h.

En la figura 3.11 y 3.12 se observa la curva de la velocidad de infiltración instantánea y su ajuste a una ecuación potencial. Empleando un procedimiento de regresión, se obtuvieron las siguientes ecuaciones de infiltración para el suelo dado:

Suelo con Frijol: $Y= 66,312X^{-0,2156}$ ($R^2= 0,6314$)

Suelo con Boniato: $Y= 157,9X^{-0,3532}$ ($R^2= 0,6365$)

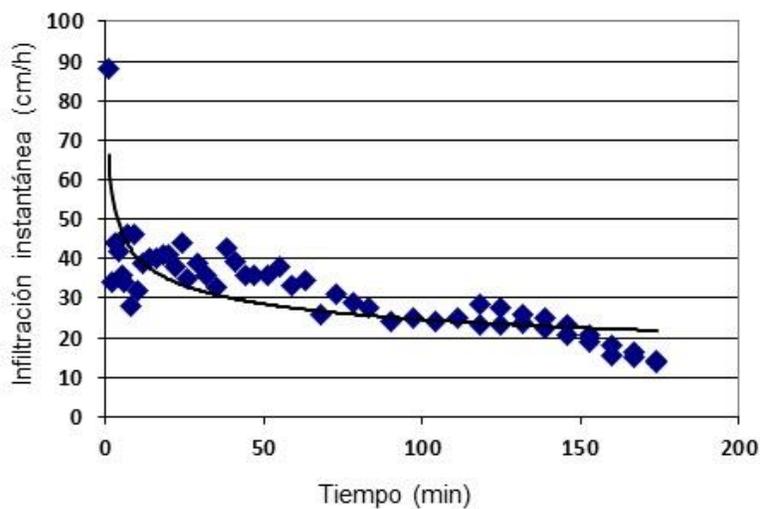


Figura 3.11 Comportamiento de la velocidad de infiltración instantánea en frijol.

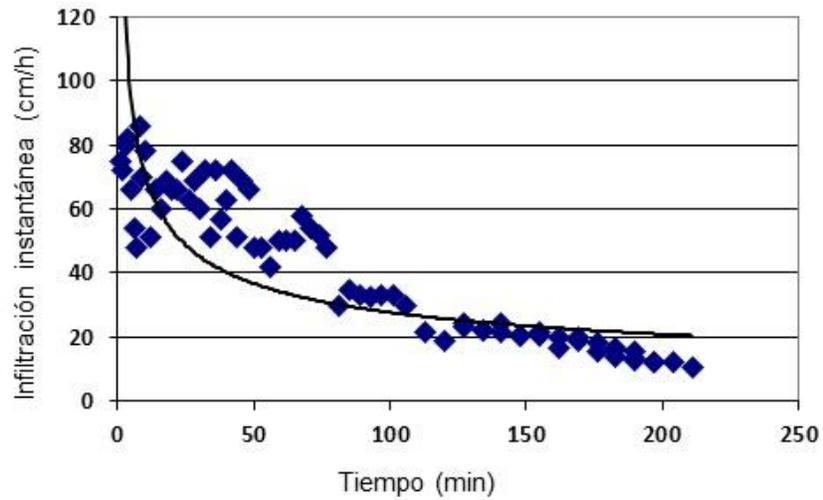


Figura 3.12 Comportamiento de la velocidad de infiltración instantánea del suelo en boniato.

Las ecuaciones de regresión potencial, arrojadas por los valores de la infiltración instantánea, permiten establecer los regímenes de riego, en función de la labranza realizada en el suelo estudiado.

CONCLUSIONES

La UBPC-3 “Jesús Menéndez” perteneciente a la Empresa Agropecuaria “Valle del Yabú” muestra condiciones favorables para la producción agrícola a partir de contar con una considerable superficie bajo riego con alto nivel de tecnificación.

La materia orgánica en los suelos bajo estudio mostró valores medios, en correspondencia con la tipología de un suelo pardo con carbonato. El suelo destinado al cultivo de frijol se caracterizó por presentar valores mayores de materia orgánica (MO = 2.16 - 2,2%) que el destinado a la producción de boniato (MO = 1,98 - 2,24%) en los perfiles de 0 a 20 cm, comportándose de forma inversa para la profundidad de 20 a 40 cm.

Los contenidos de fósforo para ambos casos se consideran muy altos (54 y 78.3 mg 100 g⁻¹), no obstante el perfil obtenido para el suelo destinado al boniato se ajusta a los patrones adecuados, incrementando con la profundidad. Por su parte el suelo destinado al frijol muestra un descenso en el contenido de fósforo con la profundidad. Asimismo los valores de potasio se clasificaron como muy altos para todo el perfil en ambos cultivos (23 y 48 mg 100 g⁻¹).

La densidad aparente y la porosidad del suelo se comportó de forma adecuada según la tipología del suelo bajo estudio, con valores promedios de 0,92 g/cm³ y 65.1% respectivamente, no obstante la densidad aparente resultó menor en el suelo destinado al cultivo de frijol con una consecuente mayor porosidad.

La humedad del suelo para el cultivo del boniato se mantiene sin cambios significativos en todo el perfil estudiado con valores promedio de 18%. Los mejores resultados se muestran en el suelo cultivado del frijol donde se denota un aumento progresivo de la humedad hasta la profundidad de 40 cm lo que satisface la profundidad efectiva de las raíces.

La compactación del suelo a partir de las mediciones del índice de cono a diferentes profundidades no presentan diferencias significativas entre los cultivos, la misma incrementa con la profundidad hasta alcanzar valores de 4.19 kPa a 60 cm de profundidad. De igual forma se comporta la velocidad de infiltración del agua en el

suelo, mostrando valores de 10,2 y 14 cm/h en los suelos cultivados con boniato y frijol respectivamente.

RECOMENDACIONES

Realizar las regulaciones necesarias en cuanto a la dosificación de los fertilizantes en función de las concentraciones de MO, P y K que muestra el suelo según los requerimientos del cultivo.

Incrementar el contenido de materia orgánica empleando fuentes alternativas como el compost y el humus posibilitando una mayor retención de la humedad en el suelo así como el empleo de técnicas de labranza conservacionista.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEMAN, R.; V. GIL; E. QUINTERO; O. SAUCEDO; U. ALVAREZ; J. GARCÍA, et al. L. GUSMÁN: *Producción de granos en condiciones de sostenibilidad*, Universidad Central "Marta Abeu" de Las Villas, 2008.
- ALFONSO, C., A. y M. MONEDERO: *Uso, Manejo y conservación de los suelos*, La Habana, 2004.
- ALONSO, D. *El riego por aspersión [en línea] Disponible en: <http://legado.inea.org/webmateriales/webriegoanunciostrabajosEl%20riego%20por%20aspersi%C3%B3n.pdf> [Consulta: 5 Marzo 2014].*
- ALTIERI, M. A: "Agroecología: Creando sinergia para una agricultura sostenible. Grupo interamericano para el desarrollo sostenible de la agricultura y los recursos natural", *Revista Agroecología*: 1996.
- CAIRO, P. y O. FUNDORA: *Edafología*, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1995.
- CAIRO, P. y O. FUNDORA: *Edafología*, Ed. Félix Varela, La Habana, 2005.
- CAIRO, P. y F. HERRERA: *Edafología*, Ed. Félix Varela Segunda parte ed, La Habana, 2005.
- COX, C: *Determinación de la Conductividad Hidráulica en la Zona No Saturada con el Infiltrómetro de Anillo*, Universidad de Chile, Chile, 2006.
- DÍAZ, R.; A. L. MORALES; Y. RODRÍGUEZ; M. LIMA; J. A. HERRERA y D. RODRÍGUEZ: "Tecnología para la producción intensiva de esquejes de boniato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam)": 87 - 89, 2013.
- ENRÍQUEZ, E. y W. GREVENSON: *Simposio Internacional de Fertirrigación*, Yucatán, 2000.
- FONTOVA, M: *Ingeniería de riego*, 2001.
- FOTH, H. D: *Fundamentos de la Ciencia del Suelo*, Ed. Continental, México, 1985.
- FUNDORA, O. y O. YEPIS: "Ahorro de fertilizantes en empresas de cultivos varios y limitación de la contaminación ambiental.", *Forum Municipal de Ciencia y Técnica*, XIII: 2000.
- GARCÍA, E. y M. FONTOVA: *Ingeniería de riego*, 1998.

- GONZÁLEZ, C. O.; C. E. I. CORONEL; M. H. SUÁREZ; G. U. SOSA y L. H. H. GÓMEZ: "Análisis de investigaciones realizadas para modelar la compactación del suelo agrícola", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2: 2011.
- GONZÁLEZ, P: *Manual para el diseño y operación de máquinas de pivote central*, 2004.
- HERNÁNDEZ, A.; M. O. ASCANIO; M. MORALES y A. LEÓN: *La historia de la clasificación de los suelos en Cuba*, Ed. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 2006.
- JIMÉNEZ, A: *La irrigación como una solución a la compactación del suelo de la Empresa Agropecuaria "Valle del Yabú"*. Univercidad Central "Marta Abeu" de Las Villas., Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2015.
- KOLMANS, E. y D. VÁZQUEZ: *Manual de Agricultura Ecológica MAELA-SIMAS.* , 1996.
- LEÓN, G. J: *Manejo ecológico de un suelo Pardo Grisáceo (Inseptisol) degradado*, 70pp., Universidad central de las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2003.
- MAGDOFF, F.: *Calidad y manejo del suelo en Agro ecología*, La Habana, Cuba 1997.
- MARTÍ, H. R.; G. B. CORBINO y H. D. CHLUDIL: "La batata, el redescubrimiento de un cultivo", *Ciencia Hoy*. 2011.
- MARTÍN, F. D. y F. E. QUINTERO: *Efecto de los niveles de fertilización NPK en el rendimiento y los contenidos de nutrientes en el frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en suelos pardos con carbonatos.*, Centro Agrícola, 1995.
- MARTÍNEZ, X: *Universidad Politécnica de Catalunya. Gestión y tratamientos de residuos agrícolas. [en línea] Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos/residuosagricolas.htm> . [Consulta].*
- MERRIAN, J. L. y J. KELLER: *Farm irrigation system evaluation a guide for management*. Utah State University, Utah. USA, 1998.
- MINAGRI: "Instructivo Técnico para el cultivo del frijol.": 35, 1983 - 1984.

- MORALES, T. A: "Aspectos generales sobre el cultivo del camote (boniato) en Cuba": 1-11, 2002.
- : " Estrategia para la producción de "semilla" de boniato": 10, 2006.
- NEGRÍN, A.; A. PARDO y C. MAZORRA: "Estudio comparativo de variedades de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris*. L) en suelos del municipio Morón.", *Revista Granma Ciencia*, XVII: 5 - 9, 2013.
- NRAG: 279. *Todos los análisis químicos se realizaron en el MINAGRI* pp. 1980.
- PACHECO, J.: "Metodología para el manejo del riego en las máquinas de pivote central.": 2-3, 2008.
- QUINTERO, E: *Manejo de algunos factores fitotécnicos en frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en condiciones de una agricultura sostenible*, 47pp., Universidad Central de Las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, 1996.
- QUINTERO, E. y V. D. GIL: "Instrucciones básicas para el cultivo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*L.) en Cuba.": 2-6, 2012.
- REQUENA, A. y R. MARTÍNEZ: "El Riego con Grandes Máquinas", *INTA*, 63: 2010.
- RODRÍGUEZ, L: "La producción de boniato (*Ipomoea Batata* l)": 2010.
- SIEBERT, S; J. BURKE; J. M. FAURES; K. FRENKEN; J. HOOGEVEEN; P. DÖLL y F. T. PORTMANN: "Groundwater use for irrigation – a global inventory.", *Hydrology and Earth System Sciences*.: 2010.
- SUNDQUIS, B: "The earth's carrying capacity, some related reviews and analysis", *Irrigation overview*, I: 2007.
- TARJUELO, J. M: *El riego por aspersión y su tecnología*, 1996.
- TILBURG, V. y J. ANNE: "Ecology and Culture", *Archaeology*: 1994.

ANEXOS**Tabla 1. Evaluación de la materia orgánica del suelo**

<i>% de Materia Orgánica</i>	Categorías
< 2.0	Bajo
2.0 – 4.0	Mediano
4.1 – 6.0	Alto
> 6.0	Muy alto

(MINAGRI, 1984)

Tabla 2. Evaluación del fósforo y potasio, por método de Oniani

P₂O₅ y K₂O (mg 100g⁻¹) por el método de Oniani para suelos no cañeros, sólo para otros cultivos

<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>	<i>Categoría</i>
< 6	< 7	Bajo
6 – 11	7 – 14	Mediano
11 – 15	14 – 20	Alto
> 15	> 20	Muy alto

(Fundora y Yepis, 2000)