Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Agronomía

Evaluación de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo destinado a la ganadería vacuna, con cultivo de *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-115

Tesis para aspirar al título de Ingeniero Agrónomo

Diplomante: Luis Enrique Zanoletti Martínez

Tutor: M. Sc. Ernesto Noval Artiles

Consultante: Dr. C. Cristóbal Ríos Albuerne

"Año 58 de la Revolución"

Santa Clara

2016

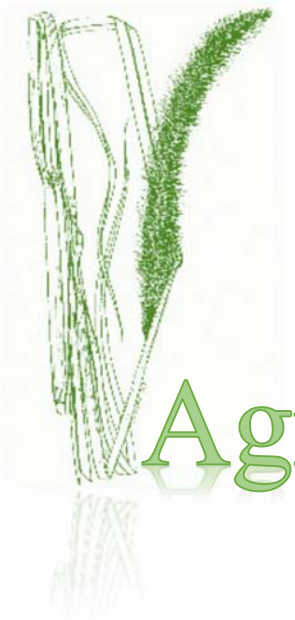
Pensamiento

"La ciencia no tiene anchos caminos reales y sólo puede alcanzar sus cimas radiantes quien, sin temor al cansancio, trepa por sus senderos pedregosos"

Carlos Marx

Dedicatoria

Este trabajo lo dedico a las personas más importantes de mi vida "especialmente a mi madre", por estar a mi lado en los buenos y malos momentos, ayudándome a hacer mis sueños realidad, y hacerme comprender que lo más importante y bello de la vida es invisible a los ojos.



Agradecimientos

Todo el mérito de mi trabajo sería en vano sino reconociera la dedicación y colaboración de todos los compañeros que junto a mis desvelos supieron apoyarme incondicionalmente, a todos mis más humildes agradecimientos.

A mi tío Fernando, mis abuelos Nereida y Elio, a mis padres, en especial mi madre, que con su amor y dedicación se entregaron por completo a mis estudios, apoyándome en todo momento.

A mi novia Vanessa Vásquez su familia por su comprensión, paciencia y ayuda para culminar mis estudios, por haberme aceptado y recibido como uno más de ellos de corazón muchas gracias.

Un agradecimiento especial a mi tutor el M. Sc. Ernesto Noval Artiles que con su valiosa enseñanza y responsabilidad supo transformar una simple guía en lo que hoy se convirtió en el objetivo de este trabajo.

Quiero agradecer al Dr.C. Cristóbal Ríos Albuerne, quien me asesoró durante la realización del trabajo y con quién siempre pude contar, al M Sc. Héctor Pablo Hernández, la Dr.C. Edith Águila, y al M. Sc. Reinaldo Quiñones quienes me ayudaron durante la confección del trabajo.

A mis amigos de estudio, en especial a Jorge González, Alicia Calzada, Rachel Pairol y Dariel Alba por acompañarme y apoyarme en los buenos y malos momentos.

A los técnicos del Laboratorio de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

A todos los profesores que contribuyeron con mi formación profesional.

A la Revolución cubana, por brindarme la posibilidad de formarme como profesional.

Al resto de las personas que de una forma u otra me apoyaron en los estudios y contribuyeron a la realización de este trabajo.

A todos una vez más, …… ***Muchas gracias***

Resumen

El trabajo se desarrolló en la Unidad Básica de Producción Cooperativa "Desembarco del Granma" con el objetivo de evaluar el efecto del cultivo de *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-115 sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas de un suelo Pardos mullido sin carbonato. Se escogieron cuatro zonas de estudio, una con pasto natural y las otras con Cuba CT-115, de 2, 11, y 17 años de plantado. Las variables evaluadas fueron pH, fósforo, potasio, materia orgánica, agregados estables, permeabilidad, así como conteo de la microflora y la macrofauna del suelo. Los datos obtenidos fueron procesados por el paquete estadístico Statgraphics Centurión XV ver. II. El pH del suelo en todos los casos se clasifica como ácido a ligeramente ácido, mientras que el fósforo se encontró por debajo del límite crítico (15 mg/ 100 g de suelo), los valores de potasio fueron de medianos a altos y los contenidos de materia orgánica del suelo están en la categoría de medianos en todos los sistemas en estudio. La permeabilidad se encontró en los rangos de buena, exceptuando la zona del Cuba CT-115 de 2 años que presentó el menor valor (1.95), los agregados estables aumentaron con el tiempo de establecido los pastos, clasificándose de regular en todas las zonas. En la microflora las poblaciones que mayores valores presentaron fueron las de hongos y bacterias en las zonas de Cuba CT-115 de 11 y 17 años, mientras que los órdenes con mayor cantidad de individuos en la macrofauna fueron *Haplotaxida* e *Hymenoptera*.

Palabras claves: *P. purpureum* cv Cuba CT-115, suelo Pardo mullido sin carbonato, ganadería vacuna

Índice

1. Introducción 1

2. Revisión Bibliográfica 4

2.1 Generalidades de la especie *Pennisetum purpureum* Schum. 4

2.2 Ubicación taxonómica 4

2.3 Características botánicas de la hierba elefante 5

2.4 Utilización de *P. purpureum* para el ganado bovino 6

2.5 Origen del cultivar Cuba CT-115 6

2.6 Características del clon Cuba CT-115 7

2.7 Aspectos generales sobre la calidad del suelo 7

2.7.1 Características físicas del suelo 8

2.7.2 Fertilidad química del suelo 9

2.7.3 Fertilidad biológica del suelo 11

2.8 Efecto de la ganadería sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos 13

3. Materiales y métodos 16

3.1 Ubicación del área de estudio 16

3.2 Características del suelo 16

3.3 Toma de muestras 16

3.3.1 Análisis químico del suelo 17

3.3.2 Análisis físico del suelo 17

3.4 Análisis de la macrofauna 18

3.5 Análisis de la microflora 18

3.6 Análisis estadísticos 18

3.6.1 Variables Químicas y Físicas 18

3.6.2 Microflora 19

2.6.3 Macrofauna 19

3.7 Evaluación del impacto del manejo en el valor de los subsistemas 19

4. Resultados y Discusión 20

4.1 Efecto de los tratamientos sobre las propiedades química del suelo 20

4.1.1 Valores de pH del suelo para cada una de las zonas de estudio 20

4.1.2 Valores de fósforo (P_2O_5) en el suelo para cada una de las zonas en estudio 21

4.1.3 Valores de potasio (K_2O) para cada una de las zonas en estudio 23

4.1.4 Valores de Materia Orgánica del suelo (MOS) para cada una de las zonas en estudio 24

4.2 Efecto de los tratamientos sobre las propiedades físicas del suelo 26

4.2.1 Valores de permeabilidad 26

4.2.2 Agregados Estables en cada una de las zonas de estudio 28

4.3 Análisis de la microflora 31

4.4 Macrofauna como indicador biológico del estado de perturbación/conservación de los sistemas en estudios 33

4.5 Evaluación del impacto del manejo en el valor de los subsistemas 37

5. Conclusiones 38

6. Recomendaciones 39

7. Bibliografía

8. Anexos

Introducción

1. Introducción

El problema fundamental de la ganadería tropical constituye la alimentación de los animales en el periodo poco lluvioso, el que puede durar de 4 a 7 meses ininterrumpidamente y constituye el período crítico para la ganadería. En este, el rendimiento de los pastos tropicales disminuye considerablemente, ocurren pérdidas de peso en los animales, muerte y apreciable disminución de la continuidad del proceso productivo (Martínez, 2001).

Para evitar la interrupción de la producción, los problemas que acarrea el período poco lluvioso, hay que almacenar o producir con planificación las cantidades de alimentos necesarios para esta etapa, de la forma más económica posible. En solución a este problema se utiliza el ensilaje, el heno, los forrajes y otros alimentos concentrados. Sin embargo, por razones económicas se necesitan sistemas rentables y seguros que demanden menos labores y combustibles (Lok *et al*., 2009).

Con este fin, se desarrollan programas de mejoramiento genético, dirigidos a la obtención de nuevos cultivares, con una productividad aceptable en condiciones de bajos insumos hídricos, así como el establecimiento de tecnologías de producción que garanticen su ahorro (González, 2004), como es el caso de la obtención de nuevos cultivares de la especie *Pennisetum* destacando el cultivar Cuba CT-115 el cual es un clon de King Grass obtenido en el Instituto de Ciencia Animal (ICA) a través de la técnica de cultivo de tejidos. En él se conjugan los siguientes caracteres deseables: mayor número de hijos por plantón, así como contenido de azúcares, porte bajo al disminuir progresivamente el tamaño de los entrenudos, favoreciendo la relación hoja-tallo, florece poco y responde bien al pastoreo. Además, es un forraje que puede constituir una importante reserva para los períodos de poca disponibilidad de alimentos, de modo similar a determinadas especies del género *Pennisetum*, acumula biomasa hasta los 5-6 meses (Caballero, 2001).

La tecnología para la utilización del Cuba CT-115 ha tenido amplia aceptación por los productores del país, como banco de biomasa para la época poco lluviosa (Martínez & Herrera, 2006), debido, fundamentalmente, a los incrementos en la producción de leche que genera y constituir una opción viable para satisfacer el déficit de alimentos en este período

estacional. Pese a que esta tecnología ha mostrado ser una alternativa atractiva para los productores, han sido poco estudiado los efectos integrales que puede provocar en el sistema ganadero. En este sentido, estudios realizados en el género *Pennisetum* lo señalan como plantas altamente extractoras de N y K del suelo (Herrera & Ramos, 2006). Por otra parte, su abundante crecimiento hace que bajo su follaje casi no crezcan otras especies, lo que deja descubiertas al suelo de vegetación y debe favorecer, junto con el continuo pisoteo animal, el incremento de su compactación. También, el diámetro de la macolla tiende a aumentar e ir ocupando totalmente el espacio. Así mismo, el acuartonamiento que requiere y el empleo de las leguminosas, pueden tener una repercusión en la estabilidad del sistema.

Por otra parte, el efecto de la ganadería vacuna en algunas de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos ha sido estudiado por Rodríguez (2004), Crespo (2005a) y Lok (2006), estos autores concluyeron que los indicadores afectados son la densidad aparente, estabilidad estructural, permeabilidad y contenido de materia orgánica. Por otro lado, Franke *et al*., (2011) demostraron, que el tipo de vegetación en el pastizal influye notablemente en estos indicadores antes mencionados.

Estos y otros aspectos constituyen incógnitas necesarias de descifrar ya que actualmente en la ganadería en el municipio de Santa Clara y específicamente en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) se están extendiendo el uso del pasto *P. purpureum* cv Cuba CT-115; sin embargo, sus efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, ha sido poco estudiados.

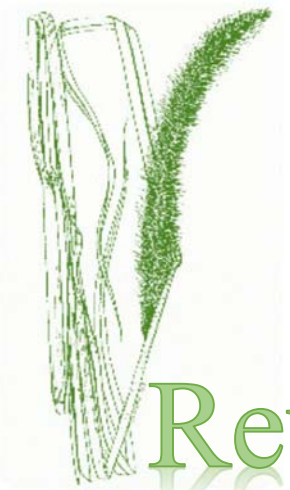
Problema: ¿Cómo influye la presencia del cultivo *P. purpureum* cv Cuba CT-115, sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo?

Hipótesis: El cultivo del *P. purpureum* cv Cuba CT-115, de acuerdo al manejo, pudiera ejercer un efecto beneficioso sobre las propiedades físico, químicas y biológicas del suelo.

Objetivo general: Evaluar el efecto del cultivo de *P. purpureum* cv Cuba CT-115 en condiciones de pastoreo rotacional y en diferentes momentos de plantado sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Objetivos específicos:

1. Determinar las propiedades físicas y químicas, del suelo ocupado por pasto natural y *P. purpureum* cv Cuba CT-115.
2. Identificar la microflora y macrofauna del suelo ocupado por pasto natural y *P. purpureum* cv Cuba CT-115.



Revisión Bibliográfica

2. Revisión Bibliográfica

2.1 Generalidades de la especie *Pennisetum purpureum* Schum.

El género *Pennisetum* es uno de los más ricos en especies dentro de la familia de las gramíneas. En el mundo tropical es conocida con diversos nombres, como: falsa caña de azúcar, Napier, Capin elefante, Bagra; pero en Cuba se le conoce comúnmente como hierba elefante, según Holm *et al*., (2011) y Burkill (2013). Paretas *et al*., (2007), plantean que la mayoría de los *Pennisetum* se adaptan a un amplio rango de suelos (latosólicos, no calcáreos y montmorilloníticos), se desarrollan en suelos con pH entre ligeramente ácido y neutros con buen drenaje y poco erosionado, requiere altas temperaturas y precipitaciones anuales no menores de 1000 mm. Según Tergas (2002), el *P. purpureum*, es una gramínea forrajera que se adapta muy bien a condiciones tropicales hasta alturas de 1000 - 1500 msnm, con un amplio rango de distribución de lluvias y de fertilidad del suelo, incluyendo suelos ácidos de baja a media fertilidad natural.

Los cultivares comerciales en Cuba son: King Grass, Cuba CT-115, Cuba CT-169, Napier, Merkeron, Taiwán-144, Taiwán 801-4 (Centro Nacional de Sanidad Vegetal, 2009).

2.2 Ubicación taxonómica

El género *Pennisetum* comprende las especies de mayor potencial de rendimiento de biomasa en el trópico. Varios cultivares de *Pennisetum* se han utilizados en Cuba desde hace varias décadas, entre ellos el Napier, Candelaria y el King Grass (Roche & Hernández, 2008).

Si se toman en cuenta los criterios de Gold (1968), Catasus (1997) y Parra (2009) la taxonomía de esta especie es la siguiente:

Reino: *Plantae*

División: *Magnoliophyta*

Clase: *Magnoliopsida*

Orden: *Poales*

Familia: *Poaceae*

Subfamilia: *Panicoideae*

Tribu: *Paniceae*

Género: *Pennisetum*

Especie: *P. purpureum*

2.3 Características botánicas de la hierba elefante

La especie ***P. purpureum*** es una gramínea perenne que forma macollas hasta siete metros de alto, formadas por numerosos tallos robustos de uno a 2,5 m de alto y puede alcanzar hasta 8 m de altura y 2,5 cm de diámetro en la base, ramificados en la parte superior. Sus tallos son erectos y con nudosidades en los cuales se encuentran las yemas y los primordios radiculares. Debido a este hábito de crecimiento es preferido como un pasto para corte, donde es usada en Cuba con ese propósito desde 1947. Las hojas, son envainadoras, grandes, el largo puede alcanzar 60-100 cm y el ancho de 2 a 4 cm, dependiendo de la variedad y de la fase de desarrollo vegetativo o sexual, donde son más anchas en la primera (Long & Lakela, 2001; Holm *et al.*, 2011; Skerman & Riveros, 2012; Burkill, 2013).

De acuerdo con Burkill (2013) las vainas inferiores son más largas que el entrenudo en las 2, 4 y 6 primeras hojas. Los bordes aserrados de las hojas son más o menos finos, así como los nervios de las hojas, la inflorescencia es una panícula espiciforme, densa y cilíndrica donde las espiguillas se disponen en grupos sub-sentados, y rodeados de cerdas, las espiguillas están en grupos de 1-6, disminuyendo en invierno a una; cada grupo está formado por una espiguilla sentada y otras pediceladas que salen debajo de ella.

El sistema radicular es muy profundo, llegando alcanzar los 450 cm de profundidad y nunca menos de 400 cm (Clavero & Urdaneta, 2007). No obstante, cuando esta hierba es sometida a corte, muchas de las raíces ocupan los primeros 10 cm de la capa superior de suelo y su extensión en esta profundidad depende del espaciamiento entre surcos y la profundidad de siembra (Assis *et al.*, 2010).

En estudios realizados con el pasto elefante enano (*P. purpureum* cv. Mott), Clavero y Urdaneta (2007), concluyeron que el desarrollo del sistema radicular es bueno con un 75 % de las raíces en los primeros 30 cm de profundidad y con raíces absorbentes a profundidades superiores a los 60 cm. El crecimiento lateral tiene lugar principalmente en los 25 cm próximos al centro de la macolla.

2.4 Utilización de *P. purpureum* para el ganado bovino

Los pastos resultan ser una fuente apropiada de alimento para el vacuno, principalmente en países de clima tropical debido al elevado número de especies que pueden ser utilizadas, también por la posibilidad de cultivarlos todo el año y de utilizarlos como alimentos fibrosos, además de no competir con el alimento para el ser humano y suelen ser una importante fuente económica (Crespo, 2006).

La utilización de la especie *P. purpureum* por el ganado bovino data desde la época de la seudorepública, para su uso como forraje verde fundamentalmente y en sus formas conservadas en forma de ensilaje y heno. Por los altos rendimientos y de aceptable valor nutritivo, es muy preferido por los ganaderos como alimento voluminoso para alimentar su masa ganadera, sobre todo en el período poco lluvioso; además por las ventajas que ofrece esta gramínea para almacenar una gran cantidad de biomasa en pie (de 4 a 6 meses), con buena calidad del forraje (Martínez *et al.,* 2009).

Tal es así, que Franco *et al*., (2005), demostraron que la inclusión del Cuba CT-115 para el pastoreo en la época de seca y la utilización de banco de proteínas incrementó la cantidad y calidad de la biomasa ofertada a las vacas lecheras, logrando indicadores productivos más favorables.

Por otra parte, esta especie vegetal puede ser utilizada también para la producción de cabras. Así, Nuñes *et al.,* (2007), utilizaron varios niveles de inclusión de heno de *P. purpureum* en la dieta, hasta un 60 % y les proporcionó una mejor relación costo/beneficio para los machos en recría, mientras que para las hembras el nivel fue de 45 %.

2.5 Origen del cultivar Cuba CT-115

A partir de la década del 80 comienza a desarrollarse, en el ICA, el programa de mejoramiento de esta especie mediante la utilización de la biotecnología y se obtienen cultivares (Martínez *et al.,* 1985), que se evaluaron y compararon con el progenitor, desde el punto de vista agronómico (Martínez *et al.,* 2004), de calidad (Herrera *et al.,* 2007) y de aspectos básicos relacionados con los pigmentos verdes (Lauzán *et al.,* 2011). A los clones promisorios se les realizaron otras evaluaciones para conocer se comportamiento frente al

pastoreo (Monzote *et al.,* 2005 y Martínez & Herrera, 2006) y su potencialidad para la producción de biomasa (Martínez *et al.,* 2003).

Martínez (2010), argumenta que la variedad Cuba CT-115 es un clon del King Grass (*P. purpureum* x *P. typhoides*) obteniéndose mediante la siembra de tejidos del King Grass en tubos de ensayos, desarrollando sus células y sacando nuevos clones. Algunas cambiaron y entre ellas se seleccionaron caracteres deseables. Así se obtuvo el Cuba CT-115 o el 115 del ICA, como más se le conoce. Valdez *et al*., (2015), nos refieren de igual manera que el Cuba CT-115 es una variedad o clon de King Grass, obtenida en Cuba, a través de la técnica de cultivo de tejidos.

2.6 Características del clon Cuba CT-115

Su carácter genético lo hace acortar los entrenudos a medida que envejece. Sin embargo, esto no afecta el largo de las vainas y las hojas por lo que aumenta su proporción de hojas. Tiene un tallo sumamente blando y prácticamente no florece, deposita niveles altos de carbohidratos solubles en sus hojas. Es ideal para almacenar forrajes en pie para época de seca (4-6 meses), tiene buena respuesta al pastoreo por eso es usado en bancos de proteínas en asociación con otras plantas forrajeras. Es de porte bajo, rendimiento alto, con tolerancia a la sequía y alta proporción de hojas. Las hojas son estrechas y velludas y al igual que el King Grass tiende a enrollar la hoja en horas del medio día o por estrés hídrico, según las observaciones realizadas por Martínez *et al*., (2009).

Uno de los elementos observados en este clon fue su elevada capacidad de rebrote lo que le permite acumular biomasa sin grandes afectaciones a su calidad (Herrera *et al*., 2006).

2.7 Aspectos generales sobre la calidad del suelo

Se considera que el suelo es un ecosistema vivo y complejo compuesto por agua, aire, sustancias sólidas e infinidad de seres vivos que interactúan activamente. Todos estos elementos son determinantes para la presencia y disponibilidad de nutrientes, los cuales inciden sobre la condición del suelo y la permanencia de las actividades agropecuarias en un sistema productivo. Por estas razones el análisis sobre la calidad del suelo debería hacerse en términos más amplios que incluyan parámetros físicos-químicos y biológicos.

2.7.1 Características físicas del suelo

Las leyes más generales de los agroecosistemas y específicamente, los procesos biogeoquímicos, influyen en las propiedades físicas a través de los procesos de la formación de agregados estables al agua y formación de bioporos, formándose las bioestructuras donde participan bacterias y hongos del suelo. La pérdida de aquellas produce compactación del suelo y, como consecuencia, se forman costras impermeables al agua y aire en su superficie, lo que afecta la fertilidad de los suelos (Primavesi, 1990; Crespo *et al*., 2000; Crespo, 2005b).

Uno de los métodos más completos e integrales para evaluar el estado estructural del suelo es el método de Henin *et al*., (2002) el cual indica, no solo la estabilidad de los agregados, sino también el régimen hídrico del suelo. También la velocidad de infiltración y el límite inferior de plasticidad, tienen relación con el estado estructural del suelo; por lo tanto, éste se puede evaluar, a través de la medición de otras propiedades físicas (Cairo, 2001; Cairo & Fundora, 2005).

Para la evaluación de la calidad del suelo se han desarrollado funciones que agrupan indicadores físicos y químicos del suelo, los cuales se evalúan mediante rangos y tablas de puntaje, expresando la aptitud del suelo para la producción vegetal o animal (Wander *et al.,* 2012).

La literatura, revisada, coincide en la importancia de la maximización de la infiltración, con el objetivo de disminuir la evaporación, la escorrentía y el potencial erosivo del suelo, lo cual posibilita el uso más eficiente del agua. Sin embargo, el uso inadecuado de la maquinaria y las altas cargas de ganado agrícola, causan problemas con la compactación, lo que fue más notable en los primeros cm de profundidad del suelo (Bouwmana & Arts, 2010) y fue más notable la degradación de la calidad física del suelo cuando estuvo húmedo en condiciones de pastoreo (Menneer *et al*., 2005). Asimismo, la compactación en pastizales afectó la densidad del suelo, la resistencia al penetrómetro, la tasa de difusión del oxígeno y la retención de agua, cuando se comparó con suelos no compactados, pero al transcurrir el tiempo (21 y 90 días posterior a la carga aplicada) se mejoraron dichos indicadores, lo que pudiera indicar la capacidad del suelo para resistir cargas instantáneas regulares, y su posterior recuperación, tras un tiempo de reposo apropiado, en dependencia de las condiciones edafoclimáticas presentes en el suelo (Bhandral *et al*., 2015).

Los agregados estables permiten una mayor aeración y, por tanto, una mejor respiración de las raíces y de los microorganismos, estimulando la exploración del suelo por las raíces, en la búsqueda de nutrientes y agua. En este sentido, cuando existe menos de 1; entre 1-1.3 y mayor de 2 g cm^{-3}, la materia orgánica del suelo es alta; los suelos están bien agregados; o representan suelos muy arenosos o arcillas compactadas, respectivamente (Widdowson, 2007) y según Hernández & López (2002) en suelos de sabanas, sin laboreo, hubo mayor proporción de macroagregados que de microagregados, al compararlo con el laboreo convencional y, a su vez, los contenidos de carbono y nitrógeno microbiano fueron más altos en los macroagregados. Decaens *et al*., (2012) no encontraron diferencias entre la estructura del suelo de sabanas *vs*. pastizales, mientras que se redujo, drásticamente, en los cultivos anuales. Por otra parte, se demostró mejoría de las propiedades físicas del suelo y su diversidad biológica, en un agroecosistema con predominio de *Panicum maximum y Leucaena leucocephala* (Lok *et al*., 2004).

En resumen, todas las propiedades físicas del suelo se deterioran, a medida que se cultivan los suelos, mientras que el pastoreo, mediante los aportes de materia orgánica a través de las deyecciones, hojarasca y procesos biogeoquímicos subsiguientes, son capaces de mejorar las bioestructuras y, con ello, la fertilidad química del suelo.

2.7.2 Fertilidad química del suelo

Se conoce que más del 80 % del nitrógeno, fósforo y potasio que consume el ganado vacuno se devuelve al pastizal a través de sus deyecciones; las bostas necesitan un proceso de desintegración y transformación para su mineralización y otros como el nitrógeno y el potasio contenidos en la orina, son rápidamente asimilables por las plantas (Crespo *et al*., 2000; Crespo, 2005b).

En sistemas intensivos, más de la mitad del nitrógeno se excreta por la orina y bostas, y el porcentaje de dicho elemento se encontró en un rango de 2.0 - 2.8 %, base seca. En el caso del fósforo, la principal vía de retomo al pastizal son las heces, mientras que el potasio representó entre el 60 y el 70 % del contenido catiónico de la orina, siendo las heces fecales, la vía principal de excreción de los elementos trazas (Rodríguez, 2001).

En este sentido, Gutiérrez & Crespo (2003) consideraron que, además del fósforo, el cobre constituye uno de los elementos más deficitarios en los suelos ganaderos cubanos. Sin embargo, el calcio, nitrógeno, materia orgánica y el pH resultaron adecuados.

Un factor que propicia el incremento de nutrientes al suelo, con una mayor eficiencia, lo constituye la hojarasca de los pastizales. Así, en el caso de las leguminosas y gramíneas, se logra acumular entre 0.7 - 0.9 y 0.2 - 0.25 kg de MS m^2, respectivamente. (Crespo *et al*., 2001). En el trópico húmedo existen problemas de fertilidad, asociados con niveles bajos y altos de pH y aluminio, respectivamente, lo cual conduce a deficiencias en fósforo (Bird *et al.,* 2014), trayendo como consecuencia carencia de este elemento en el ganado.

En un estudio de las variables edáficas entre pastizales de dos edades (12 y 32 años) en México, el pH y las concentraciones de nitrógeno total, fósforo, sodio, calcio, y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuyeron con el tiempo de uso del pastizal, lo cual se debió a una mayor carga animal (Martínez, 2004).

Por otra parte, ha sido de interés evaluar el comportamiento de distintos métodos de agricultura convencional, ganadería intensiva y ganadería orgánica, estimándose valores de pH más altos entre 20 y 30 cm, los menores entre 11 y 20 cm, y los intermedios se hallaron en la superficie, mientras que el contenido de P disponible disminuyó con la profundidad del suelo en todos los casos (Gómez *et al*., 2003). En Nueva Zelanda, se evidencia que los suelos, no perturbados, como en el caso de los pastos permanentes, se presenta el ciclo etileno - oxígeno; éste permite que algunos nutrientes como el fósforo, potasio, calcio, estén disponibles para las plantas en un momento dado, y los nutrientes no utilizados retomen a su forma insoluble y se impida su lixiviación, en este proceso participan las sales complejas de hierro férrico (Fe^{+3})- hierro oxidado- a hierro ferroso (Fe^{+2}), y hierro reducido (Pinheiro, 2004; Widdowson, 2007).

Para lograr la eficiencia de los ciclos anteriores se requiere de un pH relativamente estable, lo que es, prácticamente posible en la agricultura de bajos insumos incrementando la hojarasca y logrando la permanencia de los residuos de cosechas en el campo, para que estos aumenten la materia orgánica del suelo, la cual tiene gran poder tampón, conservando así el pH de los suelos para de esta forma estimular el desarrollo de la vida del suelo.

2.7.3 Fertilidad biológica del suelo

La vida del suelo, se toma como un indicador de su fertilidad y estabilidad; cualquier factor que afecte la cantidad de estos organismos, trae consigo una desestabilización ecológica del suelo (Socarras, 2006). Asimismo, Crespo *et al.,* (2008) reportaron que las lombrices están, mayormente, representadas en suelos ganaderos y existe una mayor activación de la macrofauna cuando las bostas cubren un mayor por ciento del área. También resultaron de gran significación los aportes de materia orgánica del suelo de las deyecciones en el pastizal, siendo las lombrices las que ejercen una mayor influencia en las actividades de la descomposición, traslado de la materia orgánica y reciclaje de los nutrientes en general (Rodríguez *et al.,* 2003). Por su parte, Dilamini & Haynes (2004) señalaron que el *Pennisetum clandestinum* fue el sistema que mayor cantidad de lombrices tuvo, al compararlo con diferentes formas de uso de la tierra, y que las formas juveniles predominaron en todos los agroecosistemas estudiados, excepto en el agroecosistema de pastizal mencionado con predominio de las formas adultas. Asimismo, estos autores obtuvieron que el número de lombrices y su biomasa, fue positivamente correlacionado con el pH. En este sentido el pH de los suelos muy cercano a la neutralidad (Vargas *et al*., 2002a; Vargas *et al*., 2003) pudo influir en la eficiencia con que se transformaron los residuos vegetales por las lombrices y la microflora del suelo.

Sánchez & Milera (2002) indicaron una respuesta positiva de la macrofauna del suelo al manejo, especialmente de las lombrices de tierra, consideradas como un bioindicador del estado de conservación y mantenimiento de éste, lo cual resulta de gran importancia en la búsqueda de la sostenibilidad de los sistemas ganaderos. Particularmente, las lombrices intervienen en la descomposición y ciclo de nutrientes, sirviendo, además, como indicadores de la salud del agroecosistema (Donovan *et al*., 2014).

Los hongos y actinomicetos contribuyen a la formación de grumos en el suelo y confieren así estabilidad al agua, siendo necesarios los aportes de material celulósico al suelo para mantener las bioestructuras del mismo (Primavesi, 1990).

Por otro lado, Crovetto (2009) señala la importancia de mantener el pH del suelo cercano a la neutralidad, para una mayor eficiencia en la acción de la microbiología del suelo en los

residuos vegetales, siendo las bacterias más sensibles que los hongos y actinomicetos, aunque estos últimos también disminuyen su acción por el efecto de la acidez.

Existe una correlación, entre el nitrógeno inmovilizado y la mineralización del carbono; y la rápida estabilización de aquel se facilita mediante la activa participación de la comunidad microbiana y disponibilidad de sustratos orgánicos, fácilmente mineralizables, lo cual ocurre en los suelos dedicados a pastos y bosques (Barrett & Burke, 2010). Sin embargo, cuando se aplicaron altas dosis de fertilización nitrogenada, se afectó la razón hongos/ bacterias, mientras la asociación pasto-leguminosa tuvo menor biomasa fúngica y mayor cantidad de nitrógeno lixiviado que los pastos (de Vries *et al*., 2015).

Van -Bruggen & Semenov (2011) evaluaron las respuestas biológicas de la comunidad microbiana, especialmente bacterias y hongos del suelo, a varios factores de estrés e intensidades, y la amplitud de la respuesta y tiempo necesario para retomar al estado original; concluyendo que la estabilidad y resiliencia del suelo a las perturbaciones, dependió de una alta diversidad biológica, así como de altos niveles de reciclaje de nutrientes en el suelo.

Así, Decaens *et al*., (2012) al estudiar la conversión de sabanas nativas colombianas en pastos y otros cultivos, determinó que en todos los agroecosistemas disminuyeron las bioestructuras y éstas tuvieron una mayor representación en las sabanas y pastizales, al compararlas con los cultivos y, sobre todo, el incremento de los coprolitos fue más notorio en los pastos de mayor edad, al compararse con las sabanas, mientras que en los pastos sembrados recientemente y los cultivos, hubo una disminución de las bioestructuras de 65 a 97 %, respectivamente.

El índice de calidad biológica del suelo toma en cuenta la separación de los organismos extraídos de las muestras, y los clasifica en grupos que tienen características morfológicas homogéneas. La biodiversidad se expresa mediante el número de especies, la cual fue, marcadamente, alta en los pastos permanentes (Gardi *et al*., 2002) aunque al inicio de las restauraciones de pastos se observó que la comunidad microbiana de la vegetación fue inestable, debido a la dominancia de microrganismos oportunistas (Raphaél *et al*., 2004).

En estudios recientes se demostró las relaciones entre la biota del suelo, la disponibilidad de nitrógeno y fósforo en el crecimiento de los pastos en Nueva Zelanda y se encontró una alta relación entre la mineralización neta del nitrógeno y la producción de pastos (r= 0.87), siendo

el fósforo, el elemento más limitante del agroecosistema investigado (Parfitt *et al*., 2005; Sicardi *et al*., 2014).

Otro aspecto que garantiza la eficiencia del uso de los recursos es el almacenamiento y uso del agua de lluvias; en un suelo con alta biocenosis -como los pastos permanentes- existe agua de capilaridad en vez de agua de deposición, lo cual favorece el crecimiento de las plantas (Pinheiro, 2004). En resumen, la fertilidad del suelo se puede considerar como una medida de la habilidad del suelo para sostener satisfactoriamente el crecimiento y productividad de los cultivos, a corto y largo plazo y se determina por un conjunto de interacciones entre el ambiente físico del suelo, el ambiente químico y la actividad biológica. En tanto, la capacidad de manejar y sustentar la materia orgánica del suelo, como un recurso clave de la fertilidad de los suelos permanece en el corazón de los debates; pero las bases científicas de este aspecto se ignoran con frecuencia.

2.8 Efecto de la ganadería sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos

La fertilidad y la capacidad reproductiva de nuestros suelos, depende en gran medida, del contenido de humus y de la materia orgánica, ya que estos constituyen una fuente nutritiva para los organismos heterotróficos del suelo, influyendo de manera decisiva en las propiedades físicas como la estructura, la capacidad de retención de humedad, etc. y también en las características químicas como la capacidad de absorción de cationes (capacidad de intercambio catiónico), el suministro de nutrientes a las plantas, tanto los cationes trasladados a su superficie (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K, NH^{4+} y microelementos) como los liberados cuando la materia orgánica se mineraliza; nitrógeno, azufre y fósforo entre otros que forman parte constituyente de la misma; es decir, influye tanto en el régimen de los nutrientes como en la capacidad transformadora del suelo (Roche & Hernández, 2008).

Lal (2011), determinó los efectos de la deforestación, la labranza de "post desmonte" y sistemas de cultivos sobre las propiedades del suelo, en el suroeste nigeriano. Los resultados mostraron que la deforestación y los cambios en el uso del suelo causan cambios drásticos en las propiedades físicas e hidrológicas del suelo, los cuales habían sido extremadamente favorables bajo el sistema boscoso antes de la tala. La densidad aparente y la resistencia a la penetración como indicadores de la compactación se incrementaron significativamente y con ello la infiltración se vio reducida debido al pisoteo del ganado.

Amézquita & Pinzón (2005) midieron los cambios de las propiedades del suelo, como resultado de su compactación por el pisoteo de animales en pasturas del piedemonte de Caquetá (Colombia). Los resultados de esta investigación revelaron que los animales en pastoreo modifican substancialmente las propiedades físicas de los suelos del piedemonte amazónico. Sin embargo, la intensidad de estos cambios depende de la zona y la especie cultivada, siendo más drástico en suelos con guagüilla (*Homolepis aturensis*) que pasturas de *Brachiaria decumbens* y más en áreas de lomerío (altura pequeña en el terreno) y de terrazas que en las vegas. La compactación fue mayor en los primeros 15 cm, ocasionando una severa disminución en la porosidad y cambios desfavorables en la relación suelo-agua-aire que afectan el desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad. Con relación a la estructura, se encontró una pérdida de esta característica por pisoteo.

Sánchez e*t al.,* (2002) evaluaron diferentes cargas (0; 3.3; 6.6 y 8.3 animales ha^{-1} $año^{-1}$) sobre las características del suelo, en este experimento ellos utilizaron rotaciones de 3 potreros, para un tiempo total de 42 días (14 días/potrero), con animales de 2 años de edad, Pardo suizo x Cebú, cuyo peso inicial era de 180 kg. Los resultados mostraron que la densidad aparente, como indicador de la compactación mostró valores más bajos a medida en que se disminuía el número de animales. El pisoteo redujo la porosidad total, teniendo mayores efectos sobre la macroporosidad y la biomasa de lombrices mostró una correlación negativa con respecto a la densidad aparente.

El pisoteo, la defoliación y el retorno de nutrientes por los animales pueden considerarse en términos generales como los principales efectos causados en el ecosistema de pastizales por el pastoreo. En cuanto al reciclaje de nutrientes se refiere, son evidentes los efectos en la transferencia de nutrientes vegetales en los potreros debido a los productos excretados por los animales en potreros. Según Febles (2009) la mayor parte de estos nutrientes se retorna al pastizal en forma de heces y orina, cuya cantidad es considerable. Las excretas contienen los nutrientes necesarios para las plantas y en las proporciones deseadas aproximadamente. Sin embargo, esos nutrientes no pueden estar todos inmediatamente disponibles para las raíces de las plantas.

La orina es rica en nitrógeno, potasio y azufre mientras que las heces contienen todo el fósforo, parte orgánico (poco asimilable) y parte inorgánico (bastante disponible de

inmediato), así también la mayoría del calcio y el magnesio, pero mucho menos potasio, sodio, nitrógeno y azufre, siendo estos dos últimos disponibles solo lentamente. Teóricamente, los mismos nutrientes pueden ser usados varias veces por las plantas y animales en un período corto, mientras que puede tomar un año o más el crecimiento normal de la planta para descomponer y liberar nutrientes para la utilización por otras plantas (Hilder, 2010). El agotamiento de las reservas por debajo de un nivel crítico puede ocasionar la muerte de la planta y, por consiguiente, la cubierta basal en los pastizales sujetos a sobrepastoreo, lo que usualmente va asociado con el incremento de especies de gramíneas indeseables y malezas y también con la erosión y deterioro del suelo (Weinmann, 2012). Siavosch (2004) encontró que el establecimiento de los sistemas ganaderos afecta la biodiversidad, modifica el balance de los nutrientes, aumenta la compactación en un tiempo relativamente corto (menor que 2 o 3 años), reduce el volumen de los espacios porosos, disminuye la velocidad del flujo del agua y propicia la erosión.

La ganadería puede jugar un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo. En particular los sistemas de granjas mixtas que pueden renovar o reponer una fracción sustancial de los nutrientes del suelo, y por consiguiente reducir la necesidad de aplicar fertilizantes inorgánicos. Es difícil estimar los beneficios económicos del mejoramiento de la estructura del suelo como un resultado de la adición de materia orgánica. Sin embargo y a nivel general se puede afirmar que la adición de fertilizantes orgánicos incrementa la capacidad de intercambio catiónico y mejora las condiciones físicas por el incremento de la capacidad de retención de agua y por ende la estabilidad estructural, entre otros (Siavosh *et al*., 2004).

Materiales y Métodos

3. Materiales y métodos

3.1 Ubicación del área de estudio

El experimento se realizó en la vaquería "Alemán" la cual se encuentra situada en las coordenadas 22^0 25' 22.9" de latitud Norte y 80^0 3' 13.0" de longitud Oeste, perteneciente a la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) "Desembarco del Granma", ubicada a 7 km de la ciudad de Santa Clara, en el Consejo Popular "Antón Díaz".

Para la realización del experimento se dividió el área de estudio en cuatro zonas:

- Zona 1: Área de Pasto natural encontrándose el *Paspalum notatum* en más del 90% del cuartón.
- Zona 2: Área que se encuentra establecida con *P. purpureum* cv Cuba CT-115, con 2 años de establecido y plantado el 13 de julio de 2013.
- Zona 3: Área que se encuentra establecida con *P. purpureum* cv Cuba CT-115, con 11 años de establecido y plantado el 8 de agosto de 2005.
- Zona 4: Área que se encuentra establecida con *P. purpureum* cv Cuba CT-115, con 17 años de establecido y plantado el 5 de junio de 1999.

En las cercas perimetrales de cada zona de estudio se encontraron árboles de *Spondia purpuera* L., G*uasuma ulmifolia* Lam. y *Brusera cimaruba* (L.) Sarg.

3.2 Características del suelo

El suelo de estas zonas se clasifica como:

- Pardo mullido sin carbonato (Hernández *et al*., 1999)
- Cambisol Eútrico (FAO, 1988)
- Cambisol Eutrico, Húmico (World Reference Base of Soil Resources (WRB))

3.3 Toma de muestras

Los muestreos se realizaron en los meses de febrero y marzo del año 2015 los cuales coinciden con el final del período poco lluvioso, en zonas de 1ha las que se encontraban bajo

sistema de pastoreo rotacional con una intensidad de pastoreo de 41,4 Unidades de Ganado Mayor ha^{-1} $día^{-1}$.

3.3.1 Análisis químico del suelo

Para ello se tomaron 3 muestras en cada una de las zonas antes mencionadas a las profundidades de 0 a 10 cm y 11 a 20 cm, procediendo a su posterior secado a la sombra, luego se tamizaron a 0.5 mm y se les determinó en el Laboratorio de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) perteneciente a la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas utilizando los siguientes métodos:

P_2O_5 y K_2O: Por el método de Oniani. Solución extractiva de ácido sulfúrico (0.1 N). El P_2O_5 se determinó por colorimetría y el K_2O por fotometría de llama.

Materia Orgánica: Método colorimétrico de Warkley y Black. Oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado.

pH (H_2O) y pH (KCL): Mediante el potenciómetro. Relación suelo: 1: 2.5

Todos los análisis químicos se realizaron según la Norma Ramal 279 del MINAGRI (NRAG 279, 1980).

3.3.2 Análisis físico del suelo

Para ello se tomaron 3 muestras en cada una de las zonas antes mencionadas a las profundidades de 0 a 10 cm y 11 a 20 cm, procediendo a su posterior secado a la sombra, luego maceraron y tamizaron a 2 mm para determinarles en el Laboratorio de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) perteneciente a la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas utilizando los siguientes métodos:

Permeabilidad: Se determinó según Henin *et al*., (1958) citado por Cairo & Fundora (2005), donde se calcula el logaritmo del coeficiente K para cada muestra utilizando un infiltrómetro según la fórmula: $\mathbf{Log}_{\mathbf{K}} = (\mathbf{e} \cdot \mathbf{V}) / (\mathbf{H} \cdot \mathbf{S})$

Dónde:

e - Altura de la columna de suelo

K - Coeficiente de percolación

V - Volumen en ml de agua percolada en una hora

H - Altura de la columna líquida o lámina de agua

S - Área de la sección transversal de la columna de suelo dentro del capilar

Agregados estables en agua: Se determinó mediante el método de Henin citado por Cairo & Fundora (2005).

3.4 Análisis de la macrofauna

Los muestreos de la macrofauna se realizaron utilizando un marco cuadrado de 25 cm de lado, tomando 3 muestras, colocándolas sobre una manta de color blanco para facilitar la extracción de los individuos, los que se extrajeron manualmente, (Sánchez & Hernández, 2006), inicialmente se colectó la hojarasca presente en la misma, colocando las muestras sobre una manta de color blanco, procediendo a la separación de los individuos manualmente, siendo conservados en una solución de alcohol al 70 % (Serrano, 2010) y clasificándolos taxonómicamente según el Orden (Sánchez *et al*., 2008), en la hojarasca y a las profundidades de 0 a 10 cm y de 11 a 20 cm. Siguiendo el criterio de Switt *et al*., 1985 citado por Huerta-Lwanga *et al*., (2008), para la colecta, se toman individuos mayores de 2 mm para ser considerado macrofauna.

3.5 Análisis de la microflora

Fue utilizada la metodología del conteo en placa para el estudio de unidades formadoras de colonias (UFC) en disoluciones seriadas de 1 gramo de suelo en 90 ml del disolvente, 10^5 para hongos, 10^8 para bacterias y 10^5 para actinomicetos las cuales se siembran en medios de cultivo y se procede a evaluar, contándose el número de unidades formadoras de colonia (Mayea *et al*., 1998).

3.6 Análisis estadísticos

Para los análisis estadísticos se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Centurión XV ver. II sobre Windows 7.

3.6.1 Variables Químicas y Físicas

Se aplicó un ANOVA de clasificación doble con interacción entre los factores (tratamiento y profundidad). En las variables en que la interacción fue significativa se aplicó un ANOVA

simple para la combinación de niveles de los factores. Complementándose con una prueba de Duncan.

3.6.2 Microflora

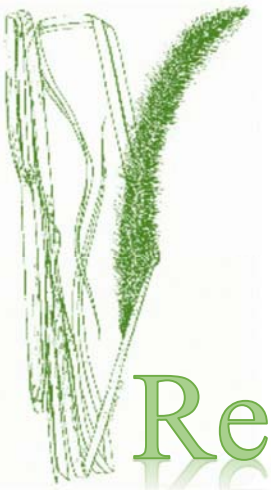
Se aplicó un análisis de varianza simple, previa comprobación de los supuestos del modelo para comprobar la homogeneidad de varianza. Complementándose con una prueba de Duncan.

2.6.3 Macrofauna

Se procesó mediante un test de Chi-cuadrado en una tabla de contingencia, para establecer la dependencia del orden con la zona.

3.7 Evaluación del impacto del manejo en el valor de los subsistemas

Se utilizó la metodología adaptada de Sánchez (citado por Vargas, 2002b), donde se recomienda seleccionar los factores que se van a medir y para cada uno de ellos confeccionar un grupo de rangos, desde una condición de deterioro hasta la deseable u óptima, dándole valor a cada uno de los rangos que después se ponderan con el resto de la calificación de los factores seleccionados. Para la evaluación del impacto en cada subsistema se tomaron siete variables, con un valor entre 0 y 3, expresando el valor final en por ciento.



Resultados y Discusión

4. Resultados y Discusión

4.1 Efecto de los tratamientos sobre las propiedades químicas del suelo

La determinación de las características químicas del suelo resulta en la obtención de parámetros o indicadores químicos de su fertilidad, entendiendo por ésta, la aptitud que tiene el suelo de proveer nutrimentos esenciales a los cultivos, y otras características como reacción del suelo, capacidad de intercambio catiónico, etc., relacionadas con el suministro de nutrimentos (Porta-Casanellas *et al*., 1999).

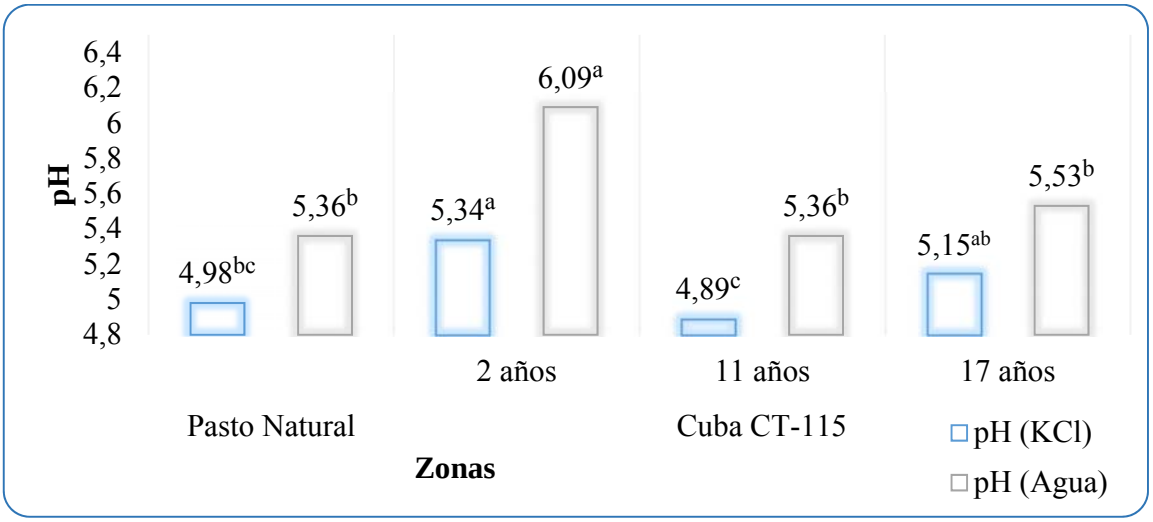
4.1.1 Valores de pH del suelo para cada una de las zonas de estudio

El pH, es el primer indicador sobre el estado nutricional del suelo, define su actividad química y biológica e influye en el crecimiento y la producción de biomasa.

Fassbender (1975), citado por Gonzales & Romero (2011), sostiene que el pH no influye directamente en el desarrollo de la vegetación, su efecto es indirecto debido a que está asociado a otras propiedades químicas del suelo, como es por ejemplo la disponibilidad de nutrientes.

En el caso de la presente investigación los valores de pH (Fig. 1) van desde ligeramente ácidos a ácidos, tanto en Cloruro de potasio (KCl) como en agua (H_2O) siendo estos valores adecuados para este tipo de suelos según Hernández *et al*., (1999). Es de destacar el caso del clon Cuba CT-115 de 11 años y del Pasto Natural donde se obtuvieron los menores valores para el pH en KCL (4.89 y 4.98 respectivamente), respecto a este resultado Vargas *et al*., (2002b) comenta que el exceso de H^+ en la solución del suelo disminuye la disponibilidad de muchos nutrientes y aumentan los elementos tóxicos como el Al^{3+} y varios metales pesados, por lo que es conveniente mantener el pH muy cercano a los valores neutros y esto se logra con un manejo adecuado de los residuos orgánicos.

En cambio, para el pH en agua solo se encontró diferencias ($p \leq 0.05$) en la zona del clon Cuba CT-115 con 2 años de establecido (6.09), lo cual puede deberse a que como este pasto es más joven se produce en él una mayor absorción de aniones como el $N\text{-}NO^{-3}$, el cual por reducción en las raíces de las células puede generar una gran cantidad de OH^- citoplasmático, el que puede inducir la síntesis de ácidos orgánicos y provocar la extrusión de OH^- hacia la rizofera (Pérez *et al*., 2010).



a, b, c, Medias con diferentes superíndices difieren por columnas a p≤ 0.05 (Duncan, 1955)

Figura 1: Rangos de pH del suelo para las zonas en estudio

Estos bajos valores de pH en el suelo pueden estar asociados además a la época del año ya que, durante el periodo poco lluvioso los valores de pH disminuyen por la acumulación de ácidos provenientes de la actividad microbiana como el ácido nítrico, pero además la acumulación de electrolitos (sales) durante este periodo dan lugar a un aumento de H^+ en el suelo, y cuando disminuye el grosor de la capa difusa, provoca la salida del H^+ hacia la solución externa del suelo, que es donde se mide el pH (Cairo & Fundora, 2005).

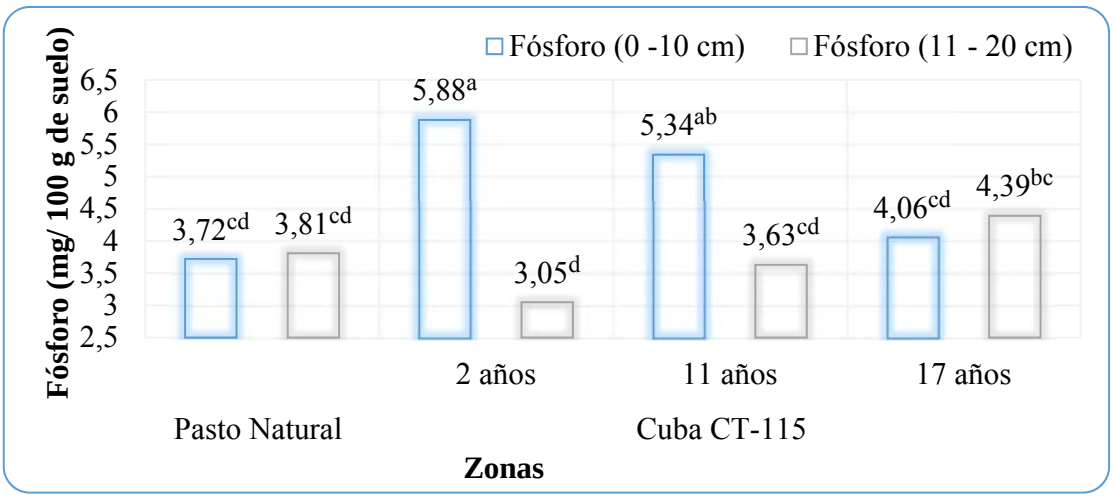
4.1.2 Valores de fósforo (P_2O_5) en el suelo para cada una de las zonas en estudio

Del análisis conjunto de los contenidos de fósforo mostrados en la Fig. 2 se detectaron diferencias (p≤ 0.05) entre las zonas y las profundidades, reportándose de manera general valores promedios muy bajos en relación con el límite de deficiencia de este mineral en el suelo (15 mg / 100 g de suelo), según los criterios de Yepis & Fundora (2000) citados por Ríos (2010). Estos resultados están en correspondencia con otros trabajos realizados en condiciones similares (Vargas, 2008; García, 2008), corroborando de estas zonas la afirmación de que el fósforo es uno de los elementos más deficitarios en los suelos destinados a la ganadería en Cuba (Vargas, 2002c; Noval *et al*., 2014).

Los mayores contenidos se encuentran en la profundidad de 0 a 10 cm y disminuyendo medida que se profundiza en el perfil, lo cual algunos autores atribuyen a la descomposición

de los residuos en la superficie y la naturaleza poco móvil de este elemento (Briceño, 2002; Zoughon, 2002) además la deposición de excretas por los animales al realizar el pastoreo también contribuye al aumento de este elemento en la superficie, respecto a esto Díaz-Zorita (2002) plantea que el fósforo retorna al suelo por las heces de los animales y los materiales vegetales muertos; aunque se encontró una ligera disminución de este elemento en las áreas del clon Cuba CT-115 en dicha profundidad a medida que aumentaba el tiempo de permanencia del pasto, no presentando diferencias ($p \leq 0.05$) con la zona de pasto natural (3.72 mg/ 100 g de suelo); similar resultado fue observado por Boschetti *et al*., (2000), en diferentes suelos de la provincia de Entre Ríos y atribuible al mayor consumo de fósforo por parte de las plantas en dicho sector del perfil de suelo.

Caso contrario ocurrió en la profundidad de 11 a 20 cm donde los valores de fósforo aumentaron con el tiempo de permanencia del Cuba CT-115 llegado a alcanzar un valor de 4,39 mg/ 100 g de suelo en la zona del clon Cuba CT-115 de 17 años, difiriendo ($p \leq 0.05$) con el resto de las zonas, lo cual pudiera estar dado por un mejor desarrollo en esta zona de la microflora, en especial los hongos (Tabla 1), respecto a ello Wittmanna *et al*., (2004), señalan que las actividades enzimáticas aumentan con el incremento de la vida biológica del suelo, la enzima fosfatasa ácida es la encargada de hidrolizar fósforo hasta formas inorgánicas, haciéndolo asimilable por las plantas.



a, b, c, d Medias con diferentes superíndices difieren por columnas a $p \leq 0.05$ (Duncan, 1955)

Figura 2: Valores de fósforo por profundidad para las zonas en estudio

Por otro lado, Alvarado, (2008) plantea que algunos géneros bacterianos, y de hongos filamentosos, además de Actinomicetos intervienen en la solubilización de fosfatos inorgánicos.

Estos bajos valores de fósforo pueden estar dados por los bajos valores de pH encontrados en estos suelos ya que según Jaramillo (2002) y Fixen (2004) estos valores de pH permiten el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y en consecuencia se libera aluminio (Al^{3+}) y hierro (Fe^{3+}), por lo que se forman fosfatos insolubles de hierro y aluminio que hacen el fósforo menos disponible.

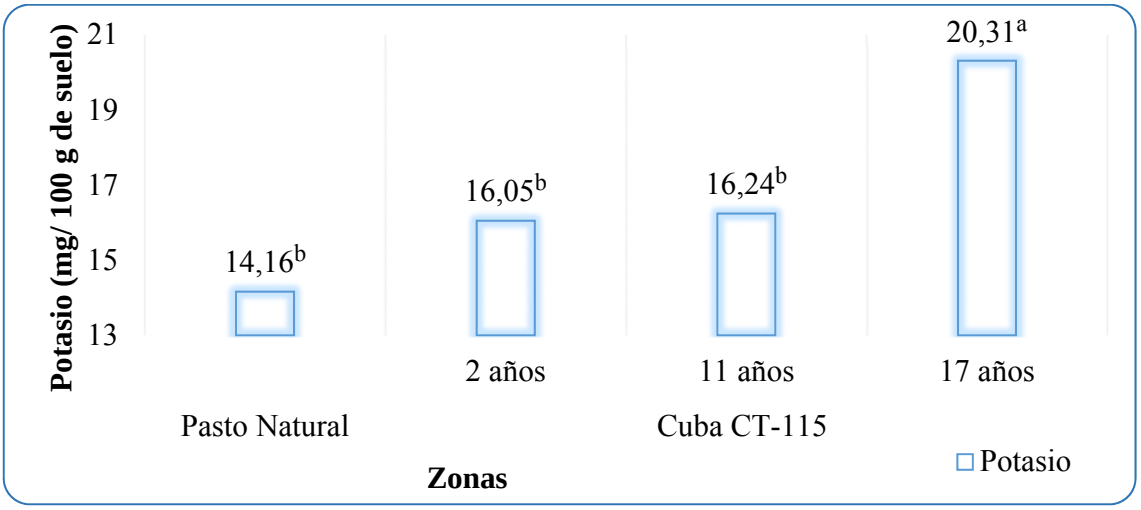
Al igual que ocurrió en el presente trabajo Borges *et al*., (2012) reportó bajos valores de fósforo en potreros con ligera a moderada acidez, aumentando los contenidos a medida que el suelo se torna más alcalino, observando una ligera asociación entre los pH bajos y las bajas concentraciones de fósforo edáfico.

4.1.3 Valores de potasio (K_2O) para cada una de las zonas en estudio

Al evaluar la disponibilidad de potasio en las diferentes zonas de estudio (Fig. 3) se observó que solo existe diferencia ($p \leq 0.05$) en la zona del clon Cuba CT 115 de 17 años alcanzando un valor de 20.31 mg/ 100 g de suelo, aunque de manera general los valores en las áreas del clon Cuba CT-115 van de medianos a altos, mientras que en la zona de pasto natural son bajos. Respecto a esto Lok *et al*., (2009) plantean que los suelos de sistemas intensivos de producción ganadera se distinguen por su alto contenido de potasio, básicamente por los aportes que reciben de la orina provenientes de los animales.

Estos resultados difieren por los encontrados por Reyes (2003) quien reportó balances negativos de este elemento para sistemas de bajos insumos, con baja y alta intensidad de pastoreo, en ganado Holstein.

Crespo (2010) plantea que la biomasa de raíces de los pastizales puede contribuir de forma marcada al reciclaje de nutrientes en los pastizales, en este sentido, las investigaciones conducidas por Crespo & Lazo (2001) indicaron que el sistema de raíces en pastizales mejorados aporta al suelo entre 1 - 2 kg de potasio ha^{-1} anualmente.



a, b Medias con diferentes superíndices difieren por columnas a p≤ 0.05 (Duncan, 1955)

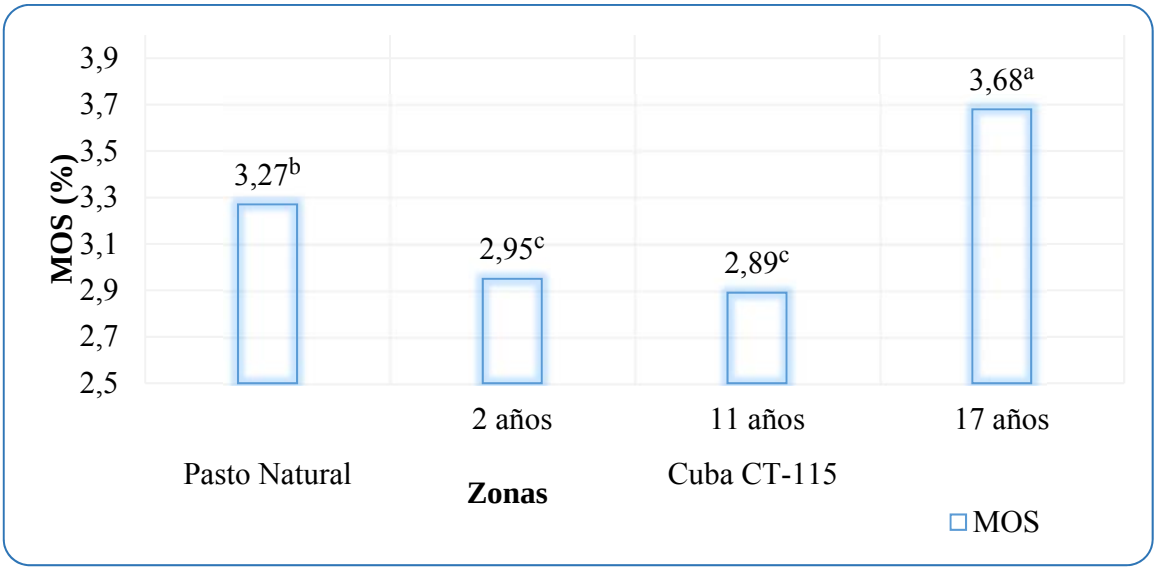
Figura 3: Valores de potasio (K_2O) en el suelo para las zonas en estudio

4.1.4 Valores de Materia Orgánica del suelo (MOS) para cada una de las zonas en estudio

Según MINAGRIG (1984), citado por Cairo & Fundora (2005) los valores de materia orgánica del suelo están en la categoría de mediano en todos los sistemas en estudio (Fig. 4), aunque solo se encontró diferencias (p≤ 0.05) para la zona del Cuba CT-115 de 17 años (3.68 %) difiriendo con el pasto natural y las otras zonas de Cuba CT-115. Crespo (2011) plantea que el tiempo de explotación de un pastizal produce cambios espaciales y temporales en el contenido de la materia orgánica del suelo, así Haynes (2007) encontró que, en un pastizal permanente, con más de nueve años de manejo, aumentó el contenido de materia orgánica del suelo, lo cual se manifestó por el incremento de la fracción ligera de carbono orgánico, de 1.8 a 4.6 %.

Hernández (2003) plantea que uno de los factores a tener en cuenta a la hora de analizar la materia orgánica en el suelo son las raíces, las cuales no solo contribuyen al aporte de agua, nutrientes, hormonas y sirven de soporte mecánico a las plantas, sino que son parte de la materia orgánica por lo que constituyen un incremento en la misma, al aumentar el carbono orgánico, el nitrógeno y la biomasa microbiana, tal como ocurrió en el presente trabajo donde los valores más elevados de materia orgánica se localizaron en las zonas con un mayor predominio de raíces debido al tiempo que llevaban de establecidos estos pastos.

Varios autores como es el caso de Trujillo *et al*., (2006) y Frageria & Moreira (2011) indican que el carbono dejado por las raíces se retiene y forma más agregados estables en el suelo con respecto al que procede de la biomasa aérea, lo que coincide con los resultados obtenidos en este trabajo donde los agregados estables aumentaron en las áreas donde mayor cantidad de materia orgánica existía que eran las de pasto natural y Cuba CT-115 de 17 años.



a, b, c Medias con diferentes superíndices difieren por columnas a p≤ 0.05 (Duncan, 1955)

Figura 4: Valores de MOS para las zonas en estudio

Según Cairo & Fundora (2005) la materia orgánica del suelo es un indicador que suele relacionarse con la nutrición vegetal, por su vínculo directo con la disponibilidad de los nutrientes, sin embargo, contradictoriamente a este planteamiento los valores encontrados en este indicador no siempre están directamente relacionados con los resultados que arrojaron los contenidos de fósforo en estas áreas. Así en la zona de Pasto Natural y Cuba CT-115 de 17 años de establecido se encontraron mayores niveles de materia orgánica (3.27 y 3.68 % respectivamente) en el suelo mientras, que los niveles de fósforo son bajos en todas las zonas, por otro lado estos autores continúan diciendo que cuando predominan los hongos sobre todo en suelos ácidos como los del presente trabajo, la descomposición de la materia orgánica ocurre con más lentitud, y a su vez el producto de la humificación es diferente al de las bacterias, es decir de calidad inferior.

Según Crespo (2011) las lombrices afectan, directa e indirectamente, la mineralización de la materia orgánica por medio de sus actividades, al mismo tiempo, la presencia de MO en el suelo influye favorablemente en la población de lombrices, este planteamiento difiere con los resultados encontrados en este trabajo, ya que el área con mayor cantidad de lombrices (Cuba CT-115 de 11 años) presentó bajos contenidos de materia orgánica en comparación con las otras zonas.

Los niveles de materia orgánica en el suelo puede ser una propiedad que por sí sola engloba parte sustancial de la calidad de suelo, ya que influye directamente en el ciclo de nutrientes, la retención y acción de los pesticidas, la retención de agua y la agregación del suelo y la formación de su estructura (Karlen *et al*., 1997), por lo que podemos decir que el suelo ocupado por el Cuba CT-115 de 17 años es el que presenta las mejores propiedades respecto al contenido de materia orgánica encontrado en él.

Los trabajos de Klapp citados por Voisin (1962) y Pinheiro (2007) se pueden considerar a tono con las investigaciones más recientes y los resultados del presente trabajo, ya que al roturar el área de pasto natural para sembrar Cuba CT-115 debieron ocurrir una serie de procesos denominados “años de miseria” que tras cierto apisonamiento inicial, disminución del contenido de humus y pérdidas de agua, ocurre un ablandamiento progresivo que restituye los elementos antes mencionados, procesos que deben durar entre ocho y diez años para restituir los procesos e interacciones logradas durante años en los pastos permanentes.

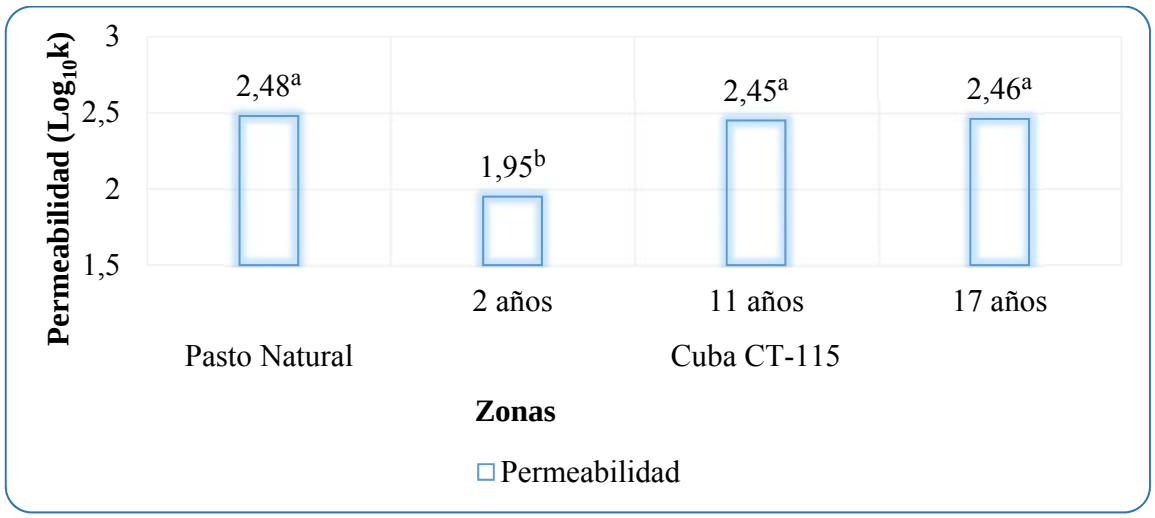
4.2 Efecto de los tratamientos sobre las propiedades físicas del suelo

La “fertilidad física” está relacionada con la capacidad del suelo de brindar condiciones estructurales adecuadas para el sostén y crecimiento de los cultivos. Aspectos como la estructura, espacio poroso, retención hídrica, densidad aparente, resistencia a la penetración, entre otras, son algunas de las variables que se analizan en estudios de fertilidad física del suelo (Köppen, 2004).

4.2.1 Valores de permeabilidad

En este caso no se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) para las profundidades estudiadas, no siendo así para las zonas (Fig. 5) donde solo se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) para el área de Cuba CT-115 de 2 años, reportando el menor valor (1.95) respecto a las demás zonas

donde se alcanzaron valores superiores a dos, respecto a este resultado Cairo & Fundora (2005) y Colas (2007) expresan que cuando la permeabilidad se encuentra próxima a dos los suelos tienden a manifestar un buen estado estructural, aumentando la humedad para el límite inferior de plasticidad, lo que tiende a igualar la capacidad de campo por lo que existe mayor posibilidad de almacenamiento de agua y su disponibilidad para las plantas, mostrando el papel de las transformaciones físico, químicas y biológicas que han tenido lugar en el suelo.



a, b Medias con diferentes superíndices difieren por columnas a p≤ 0.05 (Duncan, 1955)

Figura 5: Valores de permeabilidad para las zonas en estudio

Al realizar el análisis de esta variable podemos afirmar que la misma se mejoró ostensiblemente al trascurrir los años, dicho aumento y su tendencia a la estabilidad, pudo estar correlacionada con la interacción de factores que provocó una dinámica particular de la MOS en cada zona (Cairo & Fundora, 2005; Díaz, 2010). En el caso del Cuba CT-115 de 11 años, a pesar de presentar menores valores de MOS, si mostró un mejor desarrollo de la macrofauna edáfica, sobresaliendo las lombrices (54.29 %) y hormigas (44.44 %), las que crean canales, poros, agregados y montículos de tierra que influyen profundamente en el transporte de gases y de agua en el suelo, (Brussaard, *et al*., 2010), mejorando la estructura (Laakso & Setala, 2011), además las primeras contribuyen por medio de sus materiales fecales, las secreciones de sus cuerpos, así como la formación de galerías a la infiltración del agua y la aireación del suelo (Benton *et al*., 2014).

Los aportes de las deyecciones y de hojarasca de pastos permanentes (Rodríguez, 2001; Crespo & Pérez, 2005c; Crespo *et al*., 2015a), son componentes de gran significación que pudieron mejorar los niveles de MOS, que sumado a la fitomasa subterránea (Rodríguez *et al*., 2006), permiten recuperar la fertilidad de los suelos y la productividad de los pastizales. El suelo, al mejorar esta propiedad a través del tiempo, estará en mejores condiciones para captar agua, con una mayor capacidad de retenerla y, con ello, atenuar las diferencias de producción de biomasa que se presentan en el periodo poco lluvioso, en contraste con el periodo lluvioso (Alonso, 2013).

4.2.2 Agregados Estables en cada una de las zonas de estudio

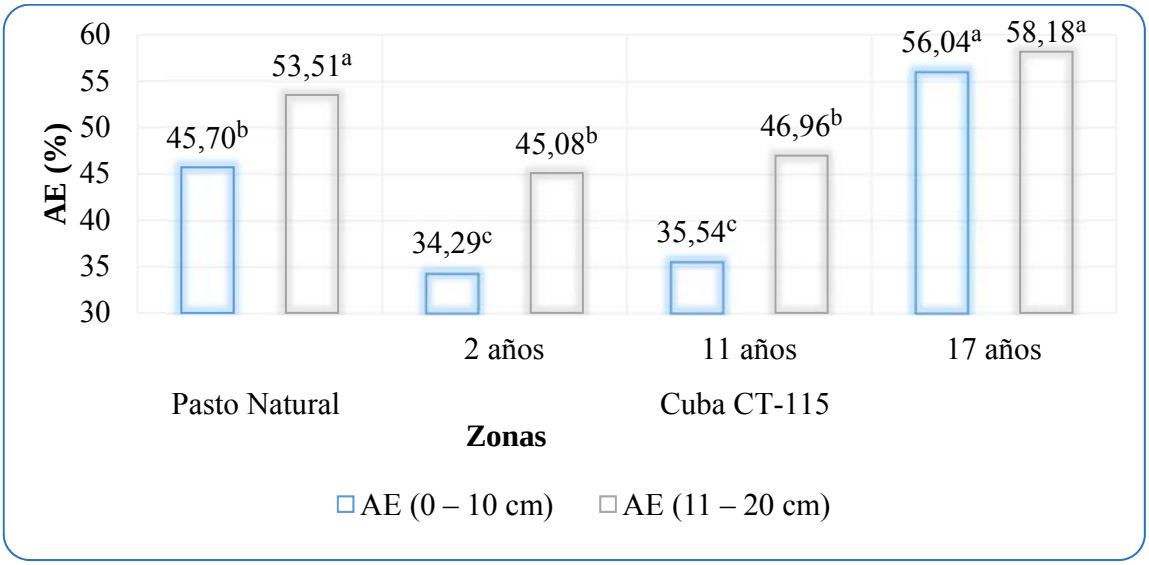
Como se puede observar en la Fig. 6, los Agregados Estables (AE) aumentan con el tiempo de permanencia de los pastos, observando una diferencia ($p \leq 0.05$) entre las profundidades, siendo mayores en la profundidad de 11 cm a 20 cm. En el caso de la profundidad de 0 a 10 cm, el valor más elevado estuvo dado por la zona establecida con el clon Cuba CT-115 de 17 años (56.04 %), mostrando mejores resultados que el resto de las zonas, igual sucedió en la profundidad de 11 a 20 cm donde los valores más elevados se encontraron en las zonas de pasto natural (53.51 %) y las del clon Cuba CT-115 de 17 años (58.18 %), aunque de manera general los agregados estables en todas las zonas reciben una clasificación de regular según Cairo & Fundora (2005).

Lok *et al*., (2009) reportaron un aumento de la estabilidad estructural en áreas con Cuba CT-115 a medida que aumenta el tiempo de establecido dicho pasto, además de un aumento en general de la fertilidad del suelo, esto apoya el planteamiento de Cairo & Fundora (2005), quienes señalan que las plantas ayudan a agregar las partículas del suelo en muchas formas, mencionándose dentro de la más importante la excreción de los compuestos orgánicos gelatinosos por las raíces que sirven como ligamento entre las sustancias inorgánicas.

Por otra parte, Vargas (2008), al evaluar este indicador en diferentes agroecosistemas dedicados al consumo del ganado, dentro de ellos uno establecido con el clon Cuba CT-115 reportó una mejoría en el tiempo, hallando valores por encima del 70 %, siendo esta una clasificación de excelente, además, de la tendencia de mejoramiento con el tiempo. La justificación de haber encontrado un mejor comportamiento de los agregados estables al agua, pudo estar relacionada con la dinámica de la materia orgánica del suelo (MOS)

provocada por las interacciones de los factores que actuaron sobre el suelo, como el periodo del año y el historial de manejo particular de cada zona (Crespo *et al*., 2000; Noval, 2000; Cairo & Fundora, 2005; y Díaz, 2005).

Los resultados encontrados en la presente investigación difieren con los hallados por Gonzales *et al*., (2014), ya que estos al realizar un estudio sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en cuatro agroecosistemas, reportaron valores de pH en KCl de 4.78, señalando que el aumento de la acidez trae como resultado la dispersión de las arcillas, las cuales tienen una acción directa en el número de agregados.



a, b, c Medias con diferentes superíndices difieren por columnas a p≤ 0.05 (Duncan, 1955)

Figura 6: Valores de agregados estables (AE) por profundidad para las zonas en estudio

Otro de los factores que pudieran estar mejorando la cantidad de agregados estables en estas zonas son las bostas depositadas por las vacas al realizar el pastoreo, ya que éstas según Ernst (2009) tienen mayor efecto sobre la estructura que la gallinaza y el estiércol porcino. Respecto a ello Crespo (2010) encontró que el efecto de los aportes continuados, durante largo tiempo, de estiércol vacuno sobre la estabilidad al agua de los grumos, es notable porque aumenta la proporción de los grumos estables al agua, de un tamaño superior a 0.5 mm desde 28 hasta un 55 %.

El establecimiento de los pastos por periodos prolongados de tiempo, también contribuye a la agregación del suelo, ya que debido al sistema de raíces sumamente ramificado que poseen, desempeñan un papel desintegrador del suelo partiendo de las grietas y fisuras ya existentes, además de aumentar el depósito de materia orgánica sobre la superficie de los agregados asegurándoles de esta forma una protección contra la destrucción (Bak & Cayssials, 2011). Baever *et al*., (2013) plantean que para que la acción mejoradora de las gramíneas sea apreciable es preciso que se mantengan sobre el suelo durante un tiempo suficiente, el cual depende de la textura, el clima, y la forma de explotación. Además, los microrganismos también ejercen un efecto beneficioso sobre la agregación del suelo ya sea por medio de los productos de sus actividades de síntesis y descomposición, que provocan la agregación de materiales o por la acción de sus propios tejidos, esta acción es más fácil visualizarla en el caso de los hongos, cuyos tejidos filamentosos (micelios) forman una red alrededor de las partículas del suelo uniéndolas (Cardoso *et al*., 2015). Según Esermann & Mclaren (2016), el 50 % del efecto estabilizador de la estructura producido por los hongos, se debe a la acción mecánica de sus micelios, en cambio, sólo el 20 % del efecto de las bacterias se debe a la acción mecánica de sus células. Según Menzies (2014) el efecto global de los hongos es más importante que el de las bacterias sobre los agregados del suelo, resultado que se puede apreciar en este trabajo donde los hongos ocuparon las mayores poblaciones (hasta 73 UFC x 10^5) en las zonas con mayores porcientos de agregados estables.

Las lombrices por su parte también influyen en la agregación de las partículas de suelo ya que las mismas ingieren tierra y materia orgánica parcialmente descompuesta, y excretan cilindros bien agregados, en la superficie o debajo de ella. Además, forman un sistema de galerías que aumentan el espacio poroso del suelo. De esta manera contribuyen a la buena estructura del suelo. El efecto es óptimo en pasturas de larga duración, donde la población de lombrices es muy alta, (Guerra, 2014) como sucede en las zonas de pasto natura y las de Cuba CT-115 de 11 y 17 años las que mostraron 25,71 %, 54,29 % y 14, 29 % del total de individuos por zonas respectivamente.

Los agregados estables han sido sugeridos como un indicador de la calidad del suelo por su sensibilidad a los cambios causados por el cultivo y sistemas de cultivos (Rodríguez *et al*., 2008). Sin embargo, los cambios en la estabilidad de los agregados pueden conllevar largos

períodos de tiempo (Low, 1972; 1976) por lo que no siempre responden en períodos cortos como cambios estacionales o de un año a otro.

4.3 Análisis de la microflora

Chocobar (2010) expone que la microbiota del suelo es afectada por los procesos agrícolas y el manejo de los recursos vegetales sobre el suelo, variando la densidad de las poblaciones microbianas, que pueden ser reducidas o mejoradas por el efecto de las prácticas agrícolas por lo que han sido utilizadas indistintamente como bioindicadores de los cambios en la calidad del suelo debido a la incidencia de la agricultura.

La tabla 1 muestra los resultados de la cuantificación de los principales grupos microbianos (hongos, bacterias y actinomicetos) de la biota del suelo en cada una de las zonas estudiadas, en el caso de las poblaciones de hongos y bacterias se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las zonas de Cuba CT-115 de 11 y 17 años, las que presentaron valores de 64.22 y 73.00 $UFCx10^5$ respectivamente para las poblaciones de hongos, y de 30.11 y 47.56 $UFCx10^9$ respectivamente para las poblaciones de bacterias, mientras que para los actinomicetos solo se encontró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la zona de Cuba CT-115 de 2 años la cual presentó los valores más bajos (6.11 $UFCx10^5$).

Knoepp *et al*., (2000) y Bloem *et al*., (2003) explican que la cuantificación de los principales grupos microbianos presentes en el suelo es un aspecto de vital importancia para estimar la contribución de los indicadores biológicos en la calidad y fertilidad de los suelos e integrar los niveles de actividad biológica, de acuerdo a lo expuesto por estos autores podemos decir que las zonas con mayor calidad en el suelo respecto a la actividad de la microflora son la zona 3 y la zona 4.

La población fúngica, valorada en el suelo de las parcelas, fluctúa entre 32.67 y 73 x 10^5 organismos por cada 100 g de suelo. La mayor cantidad de hongos se relaciona con valores bajos del pH del suelo, lo cual según (Mayea *et al*., 1989; Alexander, 2006; Cardoso *et al*., 2015) indica que los hongos son predominantes en suelos ácidos donde sufren menos competencia, pues las bacterias y los actinomicetos son favorecidos por valores de pH en la región alcalina y neutra.

Tabla 1: Cantidad de unidades formadoras de colonia (UFC) para la microflora en las zonas en estudio

Zonas de estudio		Hongos ($UFCx10^5$)	Bacterias ($UFCx10^9$)	Actinomicetos ($UFCx10^5$)
Pasto Natural		$32,67^b$	$8,44^d$	$15,22^a$
Cuba CT-115	2 años	$37,67^b$	$19,22^{bc}$	$6,11^b$
	11 años	$64,22^a$	$30,11^{ab}$	$19,33^a$
	17 años	$73,00^a$	$47,56^a$	$20,11^a$
E.E (±)		5.08	6.19	6.19

a, b, c Medias con diferentes superíndices difieren por columnas a $p \leq 0.05$ (Duncan, 1955)

Por otro lado, Rubio (2011) reportó limitaciones en el crecimiento y diversidad de las comunidades bacterianas alegando que la competencia y el antagonismo con otros organismos del suelo, tales como hongos y actinomicetos podía ser el factor causal de este resultado, ya que compiten por los espacios de colonización en el suelo, reduciendo así el hábitat de las bacterias. Considerando las elevadas poblaciones de hongos encontradas en los sistemas pudiera asumirse que al proliferar estos organismos se limitaron las condiciones idóneas para que las poblaciones bacterianas fueran superiores.

De manera general, se pudo constatar que las poblaciones de microorganismos se incrementaron en función del tiempo, lo que se pudiera interpretar como un impacto favorable del manejo de las zonas de Cuba CT-115.

Además, según; Ayres *et al*., (2006) y Kolmans & Vásquez (2009) se conoce que los microartrópodos, isópodos, lombrices y microorganismos, afectan la velocidad de descomposición de la hojarasca; y la fragmentación y heces de estos organismos alteran la calidad y composición de las comunidades microbianas, las cuales forman, a su vez, las bioestructuras, que son muy estables al agua y los nutrientes. Respecto a esto Wardle (2012) continúa diciendo que el comportamiento estable de la microvida, se pudiera esperar una mejor relación entre el carbono de la biomasa microbiana y el carbono orgánico total del suelo (cociente microbiano) y consecuentemente un mayor reservorio de nutrientes disponibles para las plantas.

4.4 Macrofauna como indicador biológico del estado de perturbación/conservación de los sistemas en estudios

En la tabla 2 podemos observar la distribución de los órdenes de la fauna del suelo por cada una de las zonas de estudio, así como la relación existente entre las diferentes zonas, destacando las zonas de Cuba CT-115 de 11 y 17 años (45,83 % y 31,94 % respectivamente), respecto a este resultado Aragón (2007) y Ribeiro (2011) plantean que la densidad de algunas especies del complejo insectos del suelo aumenta cuando las pasturas tienen varios años. En cuanto a la relación entre órdenes los de mayor representatividad lo constituyen las lombrices de tierra (*Haplotaxida*) con un 50 % y las hormigas (*Himenoptera*) con un 31,25 %, resultado este que coincide con los encontrados por López *et al*., (2011) quienes reportaron que, en las pasturas, los megadrilos (lombrices), fueron los organismos dominantes representando el 67% del total de la macrofauna. Varios autores (Lavelle *et al*., 1994; González, Zou & Borges, 1996; Rodríguez, 2000; Feijoo *et al*., 2007) toman en cuenta la eficacia de las lombrices de tierra como bioindicador del grado de perturbación del suelo, debido a la intensidad del uso de la tierra, estos detectaron la afectación de las poblaciones de lombrices en un gradiente desde sabanas y pastizales de los trópicos húmedos, seguidos de bosques primarios, plantaciones de árboles y tierras en descanso, hasta sistemas con alto grado de intervención agrícola, donde estas poblaciones estuvieron desfavorecidas.

Blanchart *et al*., (2004) demostraron la notable influencia de las raíces y las lombrices en la estabilidad del contenido de la materia orgánica, actividad biológica, porosidad y estabilidad de los agregados en el suelo de los pastizales. Anteriormente, Guggenberger *et al*., (1996) concluyeron que los restos de plantas ricos en carbohidratos eran responsables de la estabilidad estructural de las excretas (casting) de las lombrices, además de los mucopolisacáridos presentes en los microorganismos del tracto gastrointestinal de estos animales, estos autores indicaron que el metabolismo microbiano de las plantas con alto contenido de carbohidratos libera mucílagos y otros metabolitos que aumentan la permeabilidad de las partículas minerales, lo cual contribuye a la estabilidad de las excretas y del suelo en general, planteamiento este que se aprecia en el presente trabajo donde la permeabilidad presento valores por encima de dos en las zonas con mejor desarrollo de la macrofauna.

Según Crespo (2011) las lombrices desempeñan importantes funciones en el ciclo del nitrógeno en el suelo, afectando, por medio de sus actividades directa e indirectamente, la mineralización de la materia orgánica, al mismo tiempo, la presencia de materia orgánica en el suelo influye favorablemente en la población de lombrices, como se había explicado anteriormente. Van Vliet *et al*., (2007) encontraron que los pastizales con mayores contenidos de materia orgánica del suelo presentaron también las poblaciones superiores de lombrices (hasta 858 u m^{-2}). Estos pastizales tuvieron, los mayores valores de biomasa de raíces, resultados estos que concuerdan con los encontrados en el presente trabajo.

Por el contrario, las termitas (*Isoptera*) solo alcanzaron un 6.94 % del total de órdenes encontrados en el trabajo (Fraile, 2014) plantea que su invasión y agresividad están relacionadas con condiciones adversas de temperatura y humedad, así como con el contenido y la calidad del material orgánico en el suelo. En función de ello, Barros, *et al*., (2002) y Lavelle *et al*., (2003) sugirieron el empleo del índice de la densidad lombrices/termitas, en el cual la dominancia de las lombrices se corresponde con los hábitats conservados, y la prevalencia de termitas –como organismos oportunistas y más resistentes a perturbaciones inducidas– indica hábitats menos conservados o con algún nivel de degradación. Aunque este índice define a las termitas como grupo oportunista y de rápida colonización, diversos autores plantean los cambios que sufren sus comunidades; primariamente las especies humívoras que habitan en el suelo, a partir de la fragmentación, aislamiento y degradación de los hábitats (Bandeira & Vasconcelos, 2002; Bandeira, *et al*., 2003); mientras que otros las señalan como las primeras colonizadoras en ambientes deforestados, con suficiente material leñoso remanente, en cuya descomposición intervienen (Cunha, 2006). En general, el índice de la densidad lombrices/termitas ha tenido poca aplicación, a nivel internacional, en investigaciones de la macrofauna con tal enfoque.

La mayor parte de los organismos encontrados, según la literatura, intervienen en distintos grados en la dinámica de la materia orgánica y en la regulación de la estructura del suelo, que determinan la fertilidad y la sostenibilidad de la producción vegetal (Xavier, *et al*., 2004). Sin embargo, resulta de mucho interés la mayor presencia de las lombrices de tierra en el área del Cuba CT-115 de 11 años, si se tiene en cuenta que los invertebrados son los más eficientes en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Cabrera & Crespo,

2001; Sánchez & Reinés, 2001). Los diplópodos, estuvieron mejor representados en la zona de Cuba CT-115 de 17 años donde ocuparon el 47.62 %, estos se alimentan principalmente de residuos vegetales en diversos estados de descomposición, por lo que pueden desempeñar un papel significativo en la descomposición de los nutrientes, si se tiene en cuenta que el retorno de los elementos minerales al suelo a través de la hojarasca producida por el pastizal, puede ser tan importante como el retorno que ocurre por las excretas de los animales (Crespo, *et al*., 2012), por otro lado son responsables en gran medida de la fragmentación y redistribución de la materia orgánica, ayudando con ello a mejorar la estructura del suelo (Pobozsny *et al*., 2009), de ahí que en el área de Cuba CT-115 de 17 años tenga una mejor estructura y permeabilidad que el resto de las áreas. Zerbino (2008) enfatizaron que los detritívoros, como organismos desprotegidos en la superficie del suelo, se reducen drásticamente por las variaciones bruscas en las condiciones de temperatura y humedad de este debido a la menor cobertura y cantidad de residuos, y a una mayor exposición a la radiación solar en aquellos ecosistemas alterados. Estas características imperaron en las demás zonas en estudio que tenían menos sombra sobre todo las de pasto natural; de ahí que hayan manifestado una comunidad reducida de detritívoros respecto a la zona de CT-115 de 17 años. Respecto de los diplópodos, Brown, *et al*., (2014) encontraron una disminución en los pastizales recién implantados y antiguos, difiriendo con los resultados obtenidos en este trabajo.

En la mayor representación de depredadores, en la zona de Cuba CT-115 de 17 años, quizás influyó la mayor cantidad de presas como los insectos del orden *Diplopoda* en esta zona, que pudieron servir de alimento a dicho grupo funcional. No obstante, Pontégnie *et al*., (2015) asociaron la presencia de determinados grupos de depredadores, entre ellos *Araneae*, con factores abióticos como la temperatura y la humedad, y no con la disponibilidad de sus presas. Zerbino (2008) encontraron que los depredadores presentaban una mayor riqueza y abundancia en los sistemas de cultivos continuos, y *Araneae* es uno de los órdenes fundamentales; ello coincide, en parte, con los resultados del presente trabajo, ya que la aparición de este orden fue en los pastos de mayor edad.

Tabla 10: Presencia de especies por órdenes para cada zona de estudio

Órdenes		**Zonas**				**Total / Fila**
		1	**2**	**3**	**4**	
Haplotaxida	[1]	9	2	19	5	35
	[2]	25,71 %	5,71 %	**54,29 %**	14,29 %	**24,31 %**
	[3]	**50 %**	14,29 %	28,79 %	10,87 %	
Isoptera	[1]	0	0	10	0	10
	[2]	0 %	0 %	**100 %**	0 %	6,94 %
	[3]	0 %	0 %	**15,15 %**	0 %	
Coleoptera	[1]	3	4	5	1	13
	[2]	**23,08 %**	**30,77 %**	**38,46 %**	7,69 %	9,03 %
	[3]	16,67 %	28,57 %	7,58 %	2,17 %	
Aracnea	[1]	1	0	2	4	7
	[2]	14,29 %	0 %	28,57 %	**57,14 %**	4,86 %
	[3]	5,56 %	0 %	3,03 %	8,70 %	
Himenoptera	[1]	1	2	20	22	45
	[2]	2,22 %	4,44 %	**44,44 %**	**48,89 %**	**31,25 %**
	[3]	5,56 %	14,29 %	30,30 %	**47,83 %**	
Diplopoda	[1]	1	6	4	10	21
	[2]	4,76 %	28,57 %	19,05 %	**47,62 %**	14,58 %
	[3]	5,56 %	42,86 %	6,06 %	21,74 %	
Cicaelidae	[1]	1	0	6	0	7
	[2]	14,29 %	0 %	**85,71%**	0 %	4,86%
	[3]	5,56%	0 %	9,09%	0 %	
Helicoedie	[1]	0	0	0	1	1
	[2]	0 %	0 %	0 %	**100 %**	0,69%
	[3]	0 %	0 %	0 %	2,17 %	
Hemiptera	[1]	2	0	0	1	3
	[2]	**66,67 %**	0 %	0 %	33,33 %	2,08 %
	[3]	11,11%	0 %	0 %	2,17 %	
Blattodea	[1]	0	0	0	2	2
	[2]	0 %	0 %	0 %	**100 %**	1,39 %
	[3]	0 %	0 %	0 %	4,35 %	
Total / Columna		18	14	**66**	**46**	144
		12,50 %	9,72 %	**45,83 %**	**31,94 %**	100 %

Zonas
1: Pasto Natural
2: Cuba CT-115 de 2 años
3: Cuba CT-115 de 11 años
4: Cuba CT-115 de 17 años

Contenido de las celdas
1. Frecuencia Observada de individuos por Órdenes
2. Porcentaje de Órdenes por zonas de estudio
3. Porcentaje respecto a los demás Órdenes

De modo general, como aseguró Zerbino (2008) las diferencias en la proporción de los grupos funcionales de las comunidades de la macrofauna en diferentes usos de la tierra, pueden ser atribuibles a la riqueza de las especies vegetales, a los cambios en las propiedades del suelo y al manejo, que a su vez determinan la cantidad y la calidad de los recursos y afectan las interacciones entre los grupos.

4.5 Evaluación del impacto del manejo en el valor de los subsistemas

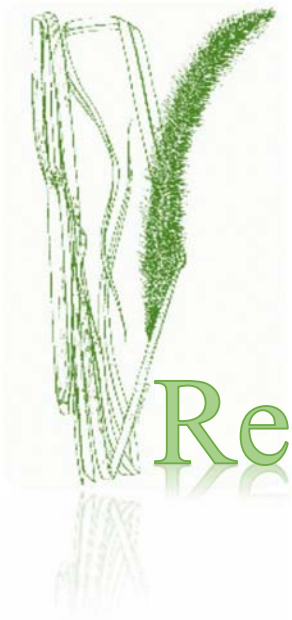
Al evaluar los cuatro subsistemas (Anexo 1), ponderando el valor obtenido en cada rango según las variables investigadas, se pudo demostrar que el CT-115 de 17 años alcanzó un 40 % con respecto a los valores óptimos para cada variable; mientras que el pasto natural y el CT-115 de 11 años alcanzaron solo un 32.5 % y un 30 % respectivamente, seguido del CT-115 de 2 años con un 20 %, todo esto nos lleva a la conclusión de la necesidad de aplicar en estos subsistema enmiendas orgánicas, para establecer dicho pasto, cuyo impacto en la fertilidad físico, químico y biológica fue sugerido por Vargas, *et al*., (2000) al comparar los efectos de la gallinaza y el estiércol en suelos Pardos sin carbonatos, utilizando el clon Cuba CT-115 para el pastoreo, además se puede reducir el área de los cuartones a 0.5 ha o aumentar la carga animal en los mismos con el fin de incrementar la deposición de excretas en el suelo.

Conclusiones

5. Conclusiones

Después de analizados nuestros resultados arribamos a las siguientes conclusiones:

- El pH en agua y en KCl varió de ácido a ligeramente ácido en todas las zonas de estudio, mientras que los contenidos de potasio y materia orgánica aumentaron con la edad de establecido el pasto Cuba CT-115, no siendo así para los contenidos de fósforo que se encontraron en la categoría de muy bajos.
- La permeabilidad y los agregados estables aumentaron con la edad de establecido el pasto Cuba CT-115.
- Las poblaciones de Hongos, Bacterias y Actinomicetos aumentaron a medida que aumentaba el tiempo de establecido el pasto Cuba CT-115, siendo mayores las poblaciones de Hongos, y los órdenes de la macrofauna que más estuvieron representados fueron *Haplotaxida* e *Hymenoptera*.
- Las zonas con mejores propiedades químicas, físicas y biológicas son las del Cuba CT-115 de 11 y 17 años respectivamente.



Recomendaciones

6. Recomendaciones

1. Continuar con estas investigaciones durante el periodo lluvioso.

2. Utilizar el cultivo de CT-115 en periodos a largo plazo de explotación.

Bibliografía

7. Bibliografía

Alexander M. 2006. Introducción a la microbiología del suelo. AGT, México, p. 491

Alonso, J. 2013. Evolución de la producción de biomasa en los componentes de un sistema silvopastoril guinea-leucaena. Rev. Cubana de Ciencia Agrícola. 39:367

Altieri, M. 1996. Bases agroecológicas para una agricultura sustentable. Agroecología y Agricultura Sostenible. Módulo 1. p. 122

Alvarado, Yelenys**.** 2008. Conferencias de Microbiología, Maestría Agricultura Sostenible. UCLV.

Amézquita, E.; Pinzón A. 2005. Compactación de suelos por pisoteo de animales en pastoreo en el piedemonte amazónico de Colombia. Pasturas Tropicales. Vol. 13. No. 2. pp. 21 - 26

Aragón, JR. 2007. Plagas animales del trigo y su manejo integrado. pp. 6-9 *En:* Actas IV Congreso nacional de trigo. II Simposio nacional de cereales de siembra otoño - invernal. Mar del Plata

Assis, F.; Lima, M.; Viana, O.; Alves, J. 2010. The root system of elephantgrass *Pennisetum purpureum* Schum cultivar Mineiro at various spacings and de phts. 68:5

Ayres, E; Dromsp, K; Barguett, R. 2006. Do plant species encourage soil biota that specialize in the rapid decomposition oh their litter? Soil Biology & Biochemistry. 38: 183-186

Bak, H.; Cayssials, R. 2011. Estabilidad estructural de algunos suelos del Uruguay. Montevideo, Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes. p.58

Barrett, J.E. & Burke. I.C. 2010. Potential nitrogen immobilization in grassland soils across a soil organic matter gradient. Soil Biology & Biochemistry. 32: 1707-1716

Baver, Gardner, W.H.; Gardner, W. R. Física de suelos. México, CRAT, 1973. p. 52

Benton, T.G; Vickery, J.A & Wilson, J.D. 2014. Farmland Biodiversity: is habitat heterogeneity the key? Trends in Ecology & Evolution. 18: 182-188

Bhandral, R.; Saggar, S.: Bolán, N.S.; Hedley, M.J. 2015. Transformation of nitrogen and nitrous oxide emission from grassland soils as affected by compaction. Soil & Tillage Research. 94: 482-492

Bird, S.B.; Herrick, J.E.; Wander, M. M. 2014. Exploiting heterogeneity of soil organic matter in rangelands: Benefits for carbon sequestration. In:The potential of U.S. grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Eds. Follet, R.F.; Kimble, J.M. & Lai. Lewis Publishers. New Cork, Washington, D.C. pp. 121-138

Borges, J.A; Barrios, Mariana; Sandoval, S; Bastardo, Yanireth; Márquez, O. 2012 Características físico y químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado Yaracuy. Bioagro 24(2): 121-126

Bouwmana, L.A. & Arts, W.B.M. 2010. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. Applied Soil Ecology 14:213-222

Briceño, O. 2002. Evaluación de diferentes coberturas vivas como barbechos mejorados en un sistema de labranza conservacionista y su relación con las propiedades químicas de dos suelos de textura contrastantes del estado Guárico. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. p. 71

Brown, G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patron, J.C., Bueno, J., *et al*., 2014. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. Acta Zoológica Mexicana. Disponible en: http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2015

Brussaard, L. 2010. Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. Ambio. Vol 26. p. 563

Burkill, H.M. 2013. The useful plants of West Tropical Africa. Royal Botanic Gardens. Kew, UK. p. 636

Caballero, C.R. 2001. Estudio de dos sistemas de manejo con King Grass CT-115 (*Pennisetum purpureum*) en condiciones de vaquería comercial. Tesis de Maestría en Ciencias de la Producción con Rumiantes. p. 48

Cabrera, Grisell.; Crespo, G. 2001. Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. Rev. cubana Cienc. Agric. 35:3

Cairo, P. Malvys Carvajal.; Machado, J. 1996. ¿Cómo mejorar la bioestructura de los suelos degradados de la provincia de Sancti Spiritus? Rev. Agricultura Orgánica, (3): 78

Cairo, P. 2001. La fertilidad física del suelo y la agricultura orgánica en el trópico. Editorial Universidad Agraria de Managua. 138 p.

Cairo, P.; Fundora, O. 2005. Edafología. Primera parte. Editorial Felix Varela. La Habana, Cuba. p.265

Cardoso, E; Tsai, S; Neves M.C. 2015. Microbiologíado solo, SECS, Campinas, Brasil. p. 60

Catasús, L. 1997. Manual de Agrostología. Editorial Academia. p. 98

Centro Nacional de Sanidad Vegetal. 2009. Lista oficial de variedades comerciales. Registro de variedades comerciales. Subdirección de Certificación de Semillas. Ministerio de La Agricultura

Chocobar, E. A. 2010. Edafofauna como indicador de la calidad en un suelo Cumulic Phaozem sometido a diferentes sistemas de manejos en un experimento de larga duración. Tesis en opción al grado científico de Máster en Ciencias., Colegio de Postgraduados, Edo. México

Clavero, T.; Urdaneta, R. 2007. Crecimiento del sistema radical del pasto elefante enano (*Pennisetum purpureum* cv Mott). *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 14:657-663

Colas, A. 2007. Obtención de indicadores de calidad de un suelo ferralítico rojo compactado. Tesis de Maestría, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba

Creo, G. 2011. Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales. Rev. Cub. Cienc. Agric. Tomo 45. Número 4

Crespo, G; Rodríguez, Idalmis; Ortiz, J., Verena, Torres.; Cabrera, Grisel. 2000. El reciclado de nutrientes en el sistema suelo-planta-animal. Una contribución al conocimiento científico en Cuba. EDICA. Instituto de Ciencia Animal. Departamento de Pastos. San José de Las Lajas. La Habana, Cuba. p.72

Crespo, G.; Lazo, L. 2001. Estudio de la biomasa de raíces de *Cinodon nlemfuensis* cv. Likoni y *Dicantium annulatum* y su aporte de nutrientes. Rev. Cubana Cienc. Agric. 35: 277

Crespo, G. 2005a. Evaluación y rescate de la fertilidad de los suelos y la producción de biomasa en una granja ganadera de La Habana. Informe Final de Proyecto de Investigación. Ministerio de la Agricultura, Cuba. p. 78

Crespo, G. 2005b. Fertilidad del suelo en ecosistemas de pastizales. I Congreso Internacional de Producción Animal. El Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes. [CD- ROM]

Crespo, G.; Pérez, Ana A. 2005c. Significado de la hojarasca en el reciclaje de nutrientes en los pastizales permanentes. Rev. Cubana Ciencia Agrícola. 33:349

Crespo, G. 2006. Producción de biomasa de pastos tropicales. Conferencia. Instituto de Ciencias Animal. La Habana

Crespo, G.: Rodríguez, I.; Torres, V.; Fraga, S. 2008. Estudio del reciclado de los nutrientes en sistemas de producción vacuna. Informe final de proyecto. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba. p. 58

Crespo, G. 2010. Mejoramiento de la fertilidad de los suelos de regiones ganaderas de Cuba por métodos sostenibles. Informe final de proyecto de investigación. Programa ramal de recursos naturales. Ministerio de la Agricultura, Cuba. p. 80

Crespo, G.; Ortiz, J.; Pérez, Ana Aurora.; Fraga, S. 2012. Tasas de acumulación, descomposición y NPK liberados por la hojarasca de leguminosas perennes. Rev. Cubana Cienc. Agric. 35:39

Crespo, G; Rodriguez, Idalmis; Torres, V; Fraga, S. 2015a. Estudio del reciclado de nutrientes en el sistema de producción vacuna. Informe final de proyecto. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba. p. 58

Crespo, G; Rodríguez, Idalmis; Lok, Sandra. 2015b. Contribución al estudio de la fertilidad del suelo y su relación con la producción de pastos y forrajes. Rev. Cubana Cienc. Agric. Tomo 49. Número 2

Crovetto, C. 2009. Agricultura de conservación. El grano para el hombre, la paja para el suelo. Ed. EUMEDIA. Madrid, España, p. 316

de Vries, F. T.; Holland. E.; van Eekeren, N.; Brussaard, L.; Bloem, J. 2015 Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biology & Biochemestry.3S:2092-2*103

Decaens, T.; Asakawa, N.; Galvis, J. H.; Thomas, R.J.; Amézquita, E. 2012. Surface activity of soil ecosystem engineers and soil structure in contrasted land use systems of Colombia. European Journal of Soil Biology. 38:267—271

Deckers, J.A., Nachtgergaele, F.O. Spaargaren, O.C. 1998. World Reference Base for Soil Resources. Introduction. Leuven, Belgium, p.165

Díaz, B.A. 2005. La materia orgánica y la calidad del suelo en el contexto de la agricultura sostenible. Monografía. Editorial Feijoo. Centro de Investigaciones Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. p. 49

Dilamini, T.C.; Haynes, RJ. 2004. Influence of agricultural land use on the size and composition of earthworm communities in northern Kwazulu — Natal, South Africa. Applied Soil Ecology. 27 (1): 77

Donovan, S.E., Blackshaw, R.P.; Niven, SJ. 2014. Beyond protein: amino acids, earthworms and soils. XIVth International Colloquium on Soil Zoology and Ecology. From August 30th to September 3rd. p. 95

Duncan, D. B. 1955. Multiple range and miltiple F test Biometrics 11:1

Ernst, W.H.O. 2009. Vegetation, organic matter and soil quality. Developments in Soil Sci. 29:41

Esermann, E.; Mclaren, A.D. 2016. Contribution of rhizosphere organisms to the total capacity of plants to utilize organic nutrients, en Plant and Soil, 15 (3), pp. 243-259.

FAO-Unesco. 1988. Soils of the World. Revised Legend. FAO, Rome, p. 119

Febles, G; Suárez, Xonia; Herrera, R. S; Martínez, R.O. 2009. Caracterización botánica de clones de King Grass (*Pennisetum purpureum*). Empleo de descriptores morfológicos. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 41, Número 4

Fixen, P. Dinámica del fósforo en el suelo y en el cultivo con relación al manejo de los fertilizantes fosfatados. 2004. En sitio web: http://www. i n p o f o s. org/ ppiweb/ ltamn.nsf/87cb8a98bf72572b8525693e0053ea70/68153a5e80e11d9c05256d58005bb0 4a/$FILE/ DinamicadelC3B35foro.pdf (Consultado: 15 de diciembre del 2012)

Frageria, N.K.; Moreira, A. 2011. The role of mineral nutrition on root growth plants. Adv. Agron. 110:251

Fraile, J.M. 2014. Poblaciones de lombrices de tierra (Oligochaeta: Annelidae) en una pastura de Cynodon plectostachyus (pasto estrella) asociada con árboles de Erythrina poeppigiana (poró), una pastura asociada con árboles de Cordia alliodora (laurel), una pastura sin árboles y vegetación a libre crecimiento, en el CATIE, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 236

Franco, R.; Vargas, S.; Silveira, E.A. 2005. Influencia del banco de proteínas y del con CT-115 (*Pennisetum purpureum*) para el pastoreo, sobre algunos indicadores productivos de una vaquería destinada a la producción de leche. Rev. Electrónica Veterinaria *REDVET*. 6 (11). http://www.veterinaria.org/revista/redvet. Consultado (11 de enero de 2014)

Franke, I.L.; Luns,, A.; Valentín, L.; do Amaral, E.; de Miranda, E. 2011. Situaçao actual e potencial dos sistemas silvipostoris no Estado de Acre. En: Sistemas Agroforestais Pecuarios, Opcioes de Sustentabilidades para Areas Tropicais e Subtropicais.. EMBRAPA, Brasil, pp. 19-40

Gardi, C.; Tomaselli M.; Parisi, V.; Petra glia. A.; Santini, C. 2002. Soil quality indicators and biodiversity in northern Italian permanent grasslands. European Journal of Soil Biology 38 :103—110

Gold, K. 1968. Grass systematic. Mc. Grow-Hill Book Company. Ed. Edica. p. 13

Gómez, P.O; Carmona, Dora; Echeverría, H.; Rosso, Olga. 2003. Agricultura orgánica y medio ambiente. En: Modelos alternativos. Módulo HE. Curso Internacional, Ganadería, Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. La Habana, Cuba. p. 63-75

González Cerero, María C. 2004. Un granito de arena en la lucha contra la sequía agrícola. VI Simposio de Agricultura Ecológica Sostenible. Congreso Científico del INCA. Memorias. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana. (CD ROM)

Gonzáles, A.; Romero, E.M. 2011. pH del suelo y producción de CT 115 (*Pennisetum purpureum*) en dos localidades de la huasteca mexicana. Memorias 23° Encuentro Nacional de Investigación Científica y Tecnológica del Golfo de México. 26 y 27 de mayo de 2011, Altamira, Tamaulipas, México

González, E; Castellanos, L; Reyes; A; Prado R; Olivier, A. 2014. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo de cuatro sistemas de cultivos de una finca del Macizo Guamuhaya. Centro Agrícola, 41(2): 45-51

Guerra, R. T. 2014. Sobre a comunidade de minocas (Annelida, Oligochaeta) do Campus da Universida de Federal do Acre, Rio Branco, Brasil. Revista Brasileira de Biologia 54(4):593-601

Gutiérrez, Odilia.; Crespo, G. 2003. Consideraciones preliminares acerca de la relación suelo-planta-animal en las condiciones agroecológicas actuales de Cuba. En: II Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes. 16-18 de Julio del 2003, Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, La Habana, Cuba. [CD-ROM]

Haynes, R.J. 2007. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand. Soil Biol. Biochem. 32:211

Henin, S.; Gras, R.; Monnier, G. 2002. El perfil cultural: El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas, Ediciones Mundi Prensa, Madrid., p. 258

Hernández, A., Pérez, J.M., Bosch, D., Rivero, L. 1999. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Edit. AGRINFOR, Ciudad Habana. p. 64

Hernández, N. 2003. Caracterización de los componentes de la fitomasa de un pastizal tradicional y cuatro ecosistemas derivados de éste. Trabajo de Diploma. Fac. de Biología. Universidad de La Habana- Instituto de Ecología y Sistemática CITMA. p. 38

Hernández, R.M.; López, D. 2002. Microbial biomass, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under conventional and no-tillage Soil Biology & Biochemestry. 34: 1563-1570

Hernández, M.; Sánchez, S. 2006. Evolución de la composición química y la macrofauna edáfica en sistemas silvopastoriles. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. III Simposio sobre sistemas silvopastoriles para la producción ganadera sostenible. Centro de Convenciones "Plaza América", Varadero, Cuba. p. 107

Herrera, R.S.; Ramos, N. 2006. Factores que influyen en la producción de biomasa y la calidad. Cap. V. En: *Pennisetum purpureum* para la ganadería tropical. (Eds. R.S. Herrera, G.J. Febles y G.J. Crespo). EDICA. La Habana. p. 79

Herrera, R.S., Martínez, R.O., Cruz, R., García, M., Guisado, I. 2007. Pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la ganadería tropical. II. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 25:245

Hilder. A. 2010 Efectos de la quema y el pastoreo en el mantenimiento de los pastizales tropicales. Rev. Cubana Cienc. Agric. 9: 395. p. 412

Holm, L.G.; Plucknett, D.L.; Pancho, J.V.; Herberger, J.P. 2011. The world's worst weeds. East-West Center. Honolulu, HI. p. 609

Huerta-Lwanga, E.; Rodríguez, J.; Evia-Castillo, I.; Montejo-Meneses, E.; Cruz-Mondragón, M. de la & García-Hernández, R. 2008. Relación entre la fertilidad del suelo y su población de macroinvertebrados. Terra Latinoamericana. 26: 71

Jaramillo, D. F. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Medellín, Colombia. p. 613

Karlen, D, Mausbach, M, Doran, J, Cline, R, Harris, R y Schuman, G. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. Soil Science Society of America J. 61: 4-10

Kolmans, E; Vásquez, D. 2009. Manual de agricultura ecológica. Editorial Enlace. 222 p

Köppen, D. 2004. Entwicklung und Bedeutung der Bodenfruchtberkeit. En: Bödenfruchtberkeit im Agroökosystem. Köppen, D. (edit.). pp. 15-99.

Laakso, J.; Setala, H. 2011. Composition and trophic structure of detrital food web in ant nest mounds of Formica aquilonia and in the surrounding forest soil. Oikos. 81 (2): 266-278

Lal, R. 2011, Deforestation and land - use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. III. Soil erosion and nutrient loss. Land Degradation & Development, Vol. 7. pp. 87 - 98

Lauzán, J., Vento, H., Herrera, R.S., Martínez, R.O. & Cruz, R. 2011. Estudio de los pigmentos verdes y carotenoides en soma clones de King Grass. III. Período lluvioso. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 25:195

Lok, Sandra; Crespo, G.; Frómeta, E.; Fraga, S. 2004. Caracterización de la dinámica edáfica y productiva de un sistema silvopastoril basado en *Leucaena leucocephala í Panicum máximum.* En: VI Taller Silvopastoril. "Los árboles y arbustos en la ganadería". EEPF "Indio Hatuey". ISBN 959-16-0285-1. [CD-ROM]

Lok, S. 2006. Estudio y selección de indicadores de la estabilidad en el sistema suelo-planta en pastizales en explotación. Resumen de propuesta a premio del CITMA provincial. Instituto de Ciencia Animal, La Habana, Cuba. p.11

Lok, Sandra; Crespo, G.; Torres, Verena; Fraga, S.; Noda, Aida. 2009. Impacto de la tecnología de banco de biomasa de *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115 en el sistema suelo-pasto-animal de una unidad de producción de leche con ganado vacuno. Revista cubana de Ciencias Agrícolas. 43 (3):307

Long, R.W. and O. Lakela. 2001. A flora of Tropical Florida. University of Miami Press, Coral Gables, FL. p. 962

López, M.; Guitian Ojea, F. 1981. Suelos de la zona húmeda. X. Suelos sobre serpentinas. 2. Oligoelementos y relación Ca/Mg en suelos y vegetación. Anal. Edafol. Agrobiol., n° 1: 1-10

López, A.; Vincini, A.; Carmona, D.M.; Álvarez. H.A.; Manetti, P.L. 2011. Impacto de las prácticas de manejo sobre la fauna edáfica en dos sistemas de producción. *En:* CD, Actas XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Low, A. 1972. The effect of cultivation on the nurture and other physical characteristics of grassland and arable soils (1945-1970). Soil Sci. 23:363-380

Low, A. 1976. Effects of Long periods under grass on soils under British conditions. J. Sci. Food Agric. 27:571-582

Martínez, R.O., Herrera, R.S.; Arteaga, M. 1985. Selección y clonaje de mutantes utilizando el cultivo de tejidos y otras técnicas mutagénicas. Seminario XXX Aniversario del Instituto de Ciencia Animal. La Habana. Cuba.

Martínez, O. 2001. Manual de producción de biomasa. Yerba elefante CT-115. Consejo de Iglesias de Cuba. Departamento de coordinación de asesoría de proyectos. Ciudad de La Habana. p. 27

Martínez, R.O., Herrera, R.S., Cruz, R., Tuero, R.; García, M. 2003. Producción de biomasa con hierba elefante (*Pennisetum purpureum*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la ganadería tropical. I. Rendimientos. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 28:229

Martínez, J.L. 2004. Efecto de la edad del pastizal en la fertilidad y capacidad de carga animal. En: II Simposio Internacional sobre Ganadería Agroecológica. Memorias SIGA. Instituto de investigaciones de Pastos y Forrajes, La Habana, Cuba. p. 133

Martínez, R.O.; Herrera, R.S. 2006. Mejoramiento genético por vías no clásicas. En: *Pennisetum purpureum* Schum. para la ganadería tropical. (Versión electrónica). Eds. R.S. Herrera, G. Crespo y G. Febles EDICA, La Habana. CD-ROM

Martínez, R.O.; Herrera, R.S.; Tuero, R.; Padilla, C. 2009. Hierba Elefante, variedades Cuba CT-115, Cuba CT-169 y Cuba OM-22 (*Pennisetum* sp.). *ACPA*. 2:44

Martínez, R. O. 2010. Manual de Agro-Red para la ganadería (Tomo II) Agrotecnia y producción de alimentos, p.16

Mayea S, Novo SR, Valino A., 1989. Introducción a la microbiología del suelo. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. p. 187

Mayea, S.; Novo, R.; Boado, I.; Silveira, E.; Soria, M.; Morales, Y., y Valiño, A. 1998. Microbiología Agropecuaria. Tomo III. Editorial Félix Varela. La Habana.

Menneer, J.C.; Ledgard, S.F.; McLay, C.D.A.; Silvester, W.B. 2005. The effects of treading by dairy cows during wet soil conditions on white clover productivity, growth and morphology in a white clover-perennial ryegrass pasture, Grass Forage Sci. 60: 46-58

Menzies, JD. 2014. "Fungi". En Methods of soil analysis. American Society of Agronomy. Black, CA (ED). Madison. pp. 1502-1505

Monzote, M., Martínez, R.O., Herrera, R.S., Cruz, R., García, M.; Tuero, R. 2005. Evaluación de soma clones de King Grass bajo pastoreo. VI Reunión ACPA. La Habana. p.76

Noval, E. 2000. Importancia de la integración del árbol en la fertilidad de los suelos pecuarios. Tesis presentada en opción al título de Master en Agricultura Sostenible. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UCLV. Santa Clara. p. 88

Noval, E; García, J; García, R; Quiñones, R; Mollineda, A. 2014. Caracterización de algunos componentes químicos, en suelos de diferentes agroecosistemas ganaderos. Rev. Centro Agrícola. 41(1): 25-31

Nuñes, A.; Costa, R.; Germano. I.; Batista, S.; Ramos, F.F.; Vallecillo, A. y. dos Santos, N.M. 2007. Efecto de diferentes niveles de consumo de pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum var. Cameroon) durante la recría de caprinos. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 15 (3):75

Paretas, J.J; Suarez, J.J; Valdez, L.R. 2007. Gramíneas y leguminosas comerciales y promisorias para la ganadería en Cuba. MINAGRI, Instituto de Investigaciones de Pastos y Forrajes.

Parfitt, R. L., Yeates, G.W., Ross, D.J., Mackay, A.D. & Budding, P.J. 2005. Relationships between soil biota, nitrogen and phosphorus availability and pasture growth under organic and conventional management. Applied Soil Ecology. 28 (1):1

Parra, W. F. 2009. Evaluación de clones versus el CT-115 de Pennisetum puepureum para la producción de biomasa. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador

Pérez, M.J; Smyth, W; Israel, D. 2010. Comparative effects of two forages species on rhizosphere acidification and solubilisation of phosphate rocks of different reactivity. J. Plant Nutrition 30: 1421-1439

Pinheiro, L.C. 2004. Pastoreo Racional Voisin. Tecnología Agroecológica para el Tercer Milenio. Editorial Hemisferio Sur. p. 336

Pobozsny, M., Gonzalez, R. and Rodriguez. M.E. 2009. The role of Trigonoiulus lumbricinus Gerst. (Diplopoda) in the descomposition of leaf litter in some plant communities of Cuba. Opusc. Zool. Budapest. XXV: 89-93

Pontégnie, M. *et al*., 2015. Impacts of silvicultural practices on the structure of hemi-edaphic macrofauna community. *Pedobiología.* 45:199

Porta-Casanella, J. López-Acevedo, M. Roquero de la Buru, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio Ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. p.849

Primavesi, Ana. 1990.. Manejo ecológico do solo. A agricultura em regioes tropicais. Livraria Novel. Sao Paulo, Brasil, p. 549

Raphael G.; Monrozier, L.J.; Bartoli, F.; Chotte, J.L.; Faivre, P. 2004. Relationships between soil physico-chemical properties and microbial activity along a restoration

chronosequence of alpine grasslands following ski run construction. Applied Soil Ecology 27: 7—22

Reyes, J.J. 2003. Efecto de las altas cargas y el manejo de la intensidad de pastoreo, en el sistema suelo-planta-animal en condiciones de bajos insumos. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencia Animal. p.134

Ríos, Eledys. 2010. El manejo ecológico de los suelos pardos grisáceos, una experiencia de 20 años. Tesis en opción a Master en Ciencias. UCLV.

Roche, R.; Hernández, J. 2008. Estudio comparativo de somaclones de King Grass (*Pennisetum purpureum*) con riego: *Pastos y Forrajes*. 16:135

Rodríguez, I. 2001. Influencia de las excreciones de vacas lecheras en el agroecosistenna de pastizal. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p. 99

Rodríguez, Idalmis, Crespo, G., Fraga, S., Rodríguez, C.; Prieto, D. 2003 Actividad de la mesofauna y la macrofauna en las bostas durante su proceso de descomposición. Rev. Cubana de Cieñe. Agrícola. 37: 319- 326

Rodríguez, I. 2004. Evaluación del impacto de los sistemas ganaderos actuales en el recurso suelo en la provincia La Habana. Informe final de proyecto de investigación. Ministerio de Agricultura. Cuba. p. 80

Rodríguez, Idalmis; Crespo, G; Lok, Sandra; Torres, Verena.; Fraga, S. 2006. Indicadores de sostenibilidad en el sistema suelo-planta-animal en Cuba. Nota Técnica. 40:239.

Rodríguez, Idalmis, Crespo, G., Torres, Verena., Calero, B., Morales, A., Otero, L., Hernández, L-. Fraga, S.; Santillán, B. 2008. Integral evaluation and soil/plant compound in a dairy unit with silvopastoral system in Havana province, Cuba. Cuban.

Sánchez, Saray.; Reinés, Marta. 2001. Papel de la macrofauna edáfica en los ecosistemas ganaderos. Pastos y Forrajes. 24:191

Sánchez, Tania; Simón, L.; Lamela, L.; López, O. 2006. Las potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la producción de leche en Cuba. Pastos y Forrrajes. 29: 295.

Sánchez, S.; Milera, M.; Hernández, M.; Crespo, G.; Simón, L. 2008. La macrofauna y su importancia en los sistemas de producción ganaderos. Parte III. Reciclaje de nutrimentos y papel de la fauna asociada. En: *André Voisin: Experiencia y aplicación de su obra en Cuba*. (Ed. M. Milera). La Habana, Cuba. p. 316

Sánchez, P.; Castilla, C.; Alegre J. 2012. Grazing pressure effects on the pasture Degradation Process. Documento No. 42511 CIAT. pp. 182 - 187

Serrano, A. 2010. Estructura y dinámica de la comunidad de macroinvertebrados edáficos en dos formaciones vegetales de Boca de Canasí, La Habana, Cuba. Tesis presentada en opción al título académico de Máster en Zoología y Ecología Animal, Mención Invertebrados. Universidad de La Habana. p. 75

Siavosh, S; Rivera, J.M; Gómez, María Elena. 2004. Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia. Disponible en http://www.fao.orglivestockagapfrgagrofor1.com. Consultado 24 de febrero de 2015

Sicardi, Margarita; García-Préchac, F.; Frioni, Lillian. 2014. Soil microbial indicators sensitive to land use conversion from pastures to commercial Eucalyptus grandis (Hill ex Maiden) plantations in Uruguay. Applied Soil Ecology 27: 125—133

Skerman, P.J.; Riveros, R. 2012. Tropical grasses. FAO Plant Production and Protection Series 23. FAO. Rome. p. 832

Soca, M.; Cancio, R.; Fuentes, M. 2008. Desarrollo y estado actual de los suelos dedicados a la ganadería. II Taller Nacional de Fertilidad de los Suelos de la Ganadería. Instituto de Ciencia Animal. La Habana. [CD-ROM]

Socarrás, Ana, A. 2006. La vida del suelo: Un indicador de su fertilidad. Aricultura Orgánica. 4(1): 12

Tergas, L.E. 2002. El potencial del pasto King Grass como gramínea forrajera seleccionada para América Latina. Información Express Pastos y Forrajes. V. 10. No. 2(44)

Trujillo, W., Fisher, M.J. & Lal, R. 2006. Root dynamics of native savanna and introduced pastures in the Eastern Plains of Colombia. Soil Tillage Res. 87:28

Valdez, G., Álvarez, J. L., Rodríguez, V., Orta, S., Molina, A. 2015. Alimentación capítulo 3. Sociedad cubana de criadores de ganado de carne y doble propósito. ACPA, SOCCA.

Van - Bruggen, A.H.C.; Semenov, A.M. 2011. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. Applied Soil Ecology. 15:13—24

Vargas, S.; Franco, R. 2002a. Contribución del forraje de caña al balance forrajero y alimentario en vacas lecheras durante el período poco lluvioso. En: Memorias. Foro Internacional "La caña de azúcar y sus derivados en la producción de leche y carne" 11-13 de noviembre del 2002. Instituto de Ciencia Animal. [CD-ROM]

Vargas, S; Cairo, P; Franco, R; Oramas, E; Muñoz, E; Torres, P; Jiménez, R; Rodríguez, Oralia; Abreu, Inés. 2002b. Diagnóstico de la fertilidad físico–química del suelo en un agroecosistema lechero. Revista de Pastos y Forrajes Vol. 25, No. 2

Vargas, S.; P. Cairo; R. Franco; E. Oramas; E. Muñoz; P. Torres; R. Jiménez; Oralia Rodríguez; Abreu, Inés. 2002c. Diagnóstico de la fertilidad físico química del suelo en un agroecosistema lechero. Pastos y Forrajes. 25: 99 – 105.

Vargas, S.; Cairo, P.; Franco, R.; Gutiérrez, Digna I. Muñoz, E.; Pereira, C.A. 2003. Evaluación preliminar de algunos indicadores de la fertilidad química del suelo en un agroecosistema ganadero. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. Tomo 37: 83

Vargas, S. 2008. Rediseño, manejo y evaluación de un agroecosistema de pastizal con enfoque integrado para la producción de leche bovina. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Santa Clara. p. 182

Voisin, A. 1962. Dinámica de los pastos. Editorial Technos, S.A. Madrid. p. 452

Wander, M.M.; Walter, G.L.; Nissen T.M.; Bollero, G.A.; Andrews, S.S. & Cavanaugh-Grant, D.A. 2012. Soil quality: Science and process. Agron. J. 94:23-32

Wardle, D.A. 2012. Communities and Ecosystems: Liking the above-ground and belowground components. Princeton University Press. Princeton N.J. p. 392

Weinmann, M.M. 2012. Nombre científico y vulgar de especies forrajeras tropicales. CIAT. Colombia. p. 75

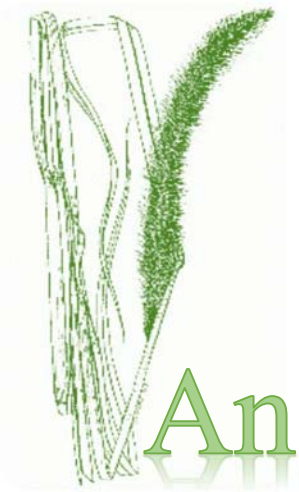
Widdowson, R.W. 2007 Hacia una agricultura holística: Un enfoque científico. Pergamon Press, Headington Hill Hall, Oxford, England, p. 256

Wittmanna, C; Káhkónen, M; Ilvesniemib, H; Kurolaa, J; Salkinoja-Salonena, M. 2004. Areal activities and stratification of hydrolytic enzymes involved in the biochemical cycles of carbon, nitrogen, sulphur and phosphorus in podsolized boreal forest soils. Soil biology and biochemistry. 36: 425-433.

Xavier, D.F.; Carvalho, M.M; Alvim, M.J.; Gomes, F.T. 2004. Litter and nutrient accumulation by two different tree combination in a silvopastoral systems. 2nd International Symposium on Silvopastoril Systems. (Eds. L. t'Mannetje, L. Ramírez, M. Ibrahim, C. Sandoval, N. Ojeda & J. Ku). Universidad Autónoma. Mérida, Yucatán, México. p. 132

Zerbino, S. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. Agrociencia. 12 (1):44

Zoughon, J. 2010. Cambio en las propiedades físicas y químicas de un suelo de sabana del estado Guárico, por efecto del sistema maíz en siembra directa con barbechos mejorados. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía Universidad central de Venezuela. Maracay. p. 58



Anexos

8. Anexos

Anexo 1 Evaluación del impacto del manejo en el valor de los subsistemas

Rangos	Clasificación	Valor del sistema	PN	CT-115 2 años	CT-115 11 años	CT-115 17 años
Agregados Estables						
< 20	Malo	0		X	X	
20 – 40	No Satisfactorio	0.5	X			
40 – 55	Satisfactorio	1				X
55 – 70	Bueno	2				
> 70	Excelente	3				
Permeabilidad						
< 1.0	Malo	0				
1.0 - 1.5	Regular	1		X		
1.5 - 2.0	Adecuado	2				
2.0 - 2.5	Excelente	3	X		X	X
Materia Orgánica						
< 1.5	Muy Bajo	0				
1.5 - 3.0	Bajo	1		X	X	
3.1 - 5.0	Mediano	2	X			X
> 5.0	Alto	3				
Fósforo						
< 15	Muy Bajo	0	X	X	X	X

15 - 30	Bajo	1				
31 - 45	Mediano	2				
> 45	Alto	3				
Potasio						
< 10	Muy Bajo	0				
10 - 15	Bajo	1	X			
16 - 20	Mediano	2		X	X	X
> 20	Alto	3				

PN: 0.5+3+2+0+1= 6.5/ 5 = 1.3/ 4 = 32.5 %

CT-115 2 años: 0+1+1+0+2 = 4/ 5= 0.8/ 4 = 20 %

CT-115 11 años: 0+3+1+0+2 = 6/ 5 = 1.2/ 4 = 30 %

CT-115 17 años: 1+3+2+0+2 = 8/ 5 = 1.6/ 4= 40 %