

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FCA
Facultad de
Ciencias Agropecuarias

TRABAJO DE DIPLOMA

Título **Propiedades físico-químicas en un suelo dedicado a la conservación de recursos forrajeros, su influencia en el contenido de algunos minerales trazas**

Autores Leila Manuel Nove

Tutores Dr. C. Ernesto Noval Artiles

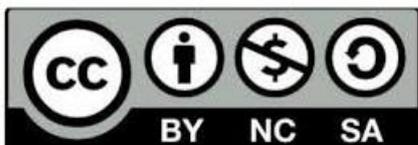
Dr. C. Arahis Cruz Limonte

Santa Clara , junio, 2018
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830
Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Agradecimientos

Doy Gracias:

A Dios, todo poderoso por darme fuerza para seguir adelante en momentos tan difíciles de mi vida.

A mis padres, por su comprensión y apoyarme en todo el momento.

A mis tutores Dr. C. Ernesto Noval Artilles y la Dra. C. Arahis Cruz Limonte por su gran paciencia y brindarme todo el tiempo y apoyo necesario en la realización de este trabajo.

A mi amiga Isabel Cristina de Matos, en especial a mi amor Joaquim Francisco José por estar ahí cuando lo necesité y por cada momento que me dedico.

A todos los profesores en especial a Ubaldo Alvarez Hernández, Arahis Cruz Limonte, Edith Aguila Alcantara, Yamisey Yera Yera, Alexis Pérez Hernandez, Arnaldo Dávila Cruz y Gerardo Paz que en el transcurso de esta carrera contribuyeron con mi formación profesional.

A mis madres cubanas Arahis Cruz Limonte, Ana Lourdes León Aguilar, Tania Capote Domínguez y Caridad Corona Prado por estaren siempre a mi lado.

A mis compañeros de aula en especial a Adel Nuñez Martínez y Leydy Yunet Gonzalez por ser tan buenos conmigo durante todos estos años.

A los trabajadores del CIAP, Sirley Gattorno Muñoz, Oralia Rodríguez López, Alianny Rodríguez Urrutia y Angel Mollineda Trujillo.

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

A todos los que de una forma u otra me ayudaron en los estudios y contribuyeron a la realización de este trabajo.

A todos gracias.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi familia y en especial a dos grandes mujeres, Noemia de Fátima Manuel y Terezinha Domingos Sebastiao Zúa que son mi fuente inspiradora para seguir adelante.

Pensamiento

...Por ejemplo, nadie piensa qué ocurre debajo de la tierra; estamos habituados a ver que ponemos una semilla y crece (...). Y es que allá en el subsuelo y en el suelo, bajo la superficie de la tierra, tienen lugar una serie de fenómenos físicos, químicos y biológicos, una serie de fenómenos de los cuales nunca hemos oído hablar. ¿Saben ustedes qué es lo que alimenta las plantas, lo que hace posible la alimentación de las plantas? (...) ¡Díganme!...

Bueno, los minerales. Pero yo voy a decirles una cosa: hay mineral, digamos magnesio, fósforo, potasio. Y ¿por qué lo asimila la planta?

Para que ese mineral sea asimilado por la planta tiene que ocurrir un proceso químico, hacerse soluble. ¿Cómo se producen esos procesos químicos? Se producen en virtud de procesos biológicos. Entonces, la vida biológica, la vida de la bacteria y de los microorganismos que hay en el suelo es importantísima.

Fidel Castro*

*La agricultura en Cuba. Agropecuaria y Ganadería. Selección Temática. 1959-1996.

Resumen

Con el objetivo de determinar algunas de las propiedades físicas-químicas de un suelo Pardo sin carbonato establecido por pastos y forrajes y la concentración de minerales en el suelo, se realizó una investigación en la Finca de Recursos Forrajeros de la UBPC "Desembarco del Granma". Se tomaron muestras de suelos de las diferentes parcelas. Los resultados se procesaron de acuerdo a la familia y hábito de crecimiento de las plantas, se realizó un análisis de estadística descriptiva y ANOVA de clasificación simple con análisis no paramétrico según procedió. El 100 % de las muestras fueron deficientes en P_2O_5 , las concentraciones de, Mn y Fe estuvieron por encima del límite crítico, no así para el caso del Cu y el Zn. La materia orgánica del suelo presentó valores medios, significativo ($p < 0.05$) para las plantas con crecimiento en macolla y no difirió de las voluminosas. Los valores de permeabilidad (3,17) y agregados estables (60,7) favorecieron a las *Moraceas*, *Asteraceas*, *Acanthacea* y *Malvaceas*; en este último indicador los valores influyeron significativamente ($p < 0,05$) cuando se comparó por hábito de crecimiento en las arbóreas, además de las descritas por familias. El factor de estructura, en el 58,6 % de las muestras se clasifica como regular, y en el 33 % es malo. Se concluye que existen condiciones en el suelo para que el Cu, Zn, Mn y Fe, no estén en su forma disponible para las plantas, por lo que es necesario hacer estudios en el componente pasto.

Palabras claves: propiedades físicas-químicas, Cu, Zn, Mn, Fe, hábito de crecimiento, familia

Contenido

1. Introducción.....	1
Objetivo General	2
Objetivos específicos	2
2. Revisión bibliográfica.	3
2.1. Aspectos generales sobre la calidad del suelo	3
2.2. Características físicas del suelo.....	3
2.3. Fertilidad química del suelo.....	5
2.4. Efecto de la ganadería sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos.....	6
2.5. Niveles e interrelaciones de Cu, Zn y Mn en el suelo y el pasto	9
3. Materiales y Métodos	13
3.1. Análisis químico del suelo.....	15
3.1.1. Materia Orgánica	15
3.2. Análisis físico del suelo	15
3.2.1. Índice de Permeabilidad (Log 10k)	15
3.2.2. Agregados estables en agua (AE)	16
3.2.3. Factor de estructura (FE).....	16
Procesamiento estadístico	16
4. Resultados y discusión.....	17
4.1. Análisis químico del suelo.....	17
4.2. Análisis físico del suelo	24
5. Conclusiones.....	30
6. Recomendaciones.....	31
7. Referencias bibliográficas.	

1. Introducción

Los elementos minerales son necesarios en la nutrición del ganado vacuno McDowell y Arthington (2005), por lo que un adecuado suplemento de minerales es esencial para un apropiado mantenimiento, crecimiento, salud y reproducción del vacuno dedicado a la producción de leche (Jones y Tracy, 2013).

Es ampliamente reconocido que los forrajes son la principal fuente de nutrientes minerales a la vaca lechera. El rendimiento y composición mineral de esos alimentos depende de las condiciones climáticas, composición botánica, edad de la planta y principalmente el suelo (Suttle, 2010 y Márquez *et al.*, 2017).

En Cuba el 66 % de los suelos están catalogados entre muy poco productivos y poco productivos, con las siguientes limitantes: salinidad, sodicidad, erosión, mal drenaje, baja fertilidad, y bajo contenido de materia orgánica (ONEI, 2007).

Los suelos destinados a la ganadería se clasifican como: Ferralíticos cuarcíticos, Amarillos lixiviados, Pardos, Escabrosos, Vérticos, Fersialíticos, Hidromorficos y Aluviales, de estos grupos el 75, 47 y 35 % presentan contenidos de minerales y pH no idóneos (Paretas, 1993).

Los microelementos son aquellos elementos químicos que al igual que los macro primarios y secundarios existen en el suelo y resultan esenciales para las plantas superiores, solo que a diferencia de estos se requieren en menor cantidad por la relación que guardan con procesos enzimáticos, procesos de oxidación-reducción, formación de clorofila, transporte de carbohidratos, entre otros (Cobo *et al.*, 2013). El Cu, Mn y el Zn son absorbidos por las plantas en forma catiónica y como sales orgánicas complejas (Quintero, 2008). La ausencia de cualquiera de los microelementos en el suelo puede limitar el crecimiento de las plantas, aun cuando los demás nutrientes esenciales estén presentes en cantidades adecuadas (Gambaudo *et al.*, 2011).

Los suelos varían en el contenido de microelementos y la cantidad depende estrechamente de los procesos formadores del suelo, inducidas por las condiciones adversas relacionadas con la acidez o la alcalinidad, el contenido

de materia orgánica, la sequía, el exceso de humedad y los desbalances nutricionales debido a manejos inadecuados de los fertilizantes y las enmiendas.

El contenido total en el suelo no indica las cantidades disponibles para el crecimiento de las plantas, pero sí la abundancia relativa y el potencial para abastecerse de un nutriente en particular. Su distribución en dependencia de la composición química de la roca madre ha sido estudiada en diferentes topografías y regiones climáticas.

En Cuba son varias las investigaciones sobre las concentraciones de minerales en los suelos destinados a la ganadería (Crespo y Duran 1990, Fundora y Yepis, 2000, Vargas, 2008, García, 2008, Rodríguez *et al.*, 2008, Monyori, 2012, Noval *et al.*, 2014 y Noval, 2016), sin embargo estos autores no hacen un estudio donde se integre las propiedades químicas y físicas y su relación con la concentración del Cu, Zn, Mn y Fe, es por ello que se hace necesario conocer cómo influyen las propiedades físicas y químicas del suelo sobre los contenidos de Cu, Zn, Mn y Fe en un suelo dedicado a la conservación de recursos forrajeros. Por esta razón se propuso la siguiente **Hipótesis**

Las propiedades físicas y químicas del suelo influyen sobre los contenidos de Cu, Zn, Mn y Fe en un suelo dedicado a la conservación de recursos forrajeros.

Para dar respuesta a la hipótesis se trazaron los siguientes objetivos:

Objetivo General

Evaluar las concentraciones de Cu, Zn, Mn y Fe, su relación con las propiedades químicas y físicas presentes en un suelo dedicado a la conservación de recursos forrajeros.

Objetivos específicos

1. Determinar algunas propiedades químicas de un suelo dedicado a la conservación de recursos forrajeros.
2. Determinar algunas propiedades físicas de un suelo dedicado a la conservación de recursos forrajeros.
3. Determinar la relación de las propiedades físicas y químicas del suelo en estudio con los microelementos.

2. Revisión bibliográfica

2.1. 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 (Bugarian, 2012). 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 (Siavosh, 2004).

2.2. 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, 2005).

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. Además 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 y 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 es más notable en los primeros centímetros de profundidad del suelo (Bouwmana y Arts, 2010) y la degradación de la calidad física cuando el suelo 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).

Según Hernández y 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 *Megathyrus maximus* 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 (Zanoletti, 2016).

2.3. 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, 2005).

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- 2,8 %, base seca. En el caso del fósforo, la principal vía de retorno 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 minerales (Rodríguez, 2001).

En este sentido, Gutiérrez y Crespo (2003) consideraron que, además del fósforo, el cobre constituye uno de los elementos más deficitarios en los suelos cubanos destinados a la ganadería. Sin embargo, el calcio, nitrógeno, la 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 m², 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).

Crespo (2011) refiere que 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

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

La fertilidad y la capacidad reproductiva de los 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 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 y 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 y Pinzón (2005) midieron los cambios de las propiedades del suelo, como resultado de su compactación por el pisoteo de animales en pasturas del pie de monte 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 *Homolepis aturensis* (Kunth) que en pasturas de *Brachiaria decumbens* (Stapf) 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 *et al.* (2012) 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 tres potreros, para un tiempo total de 42 días (14 días/potrero), con animales de dos 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 (Febles, 2009).

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).

Siavosh (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 dos o tres 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).

3.5. Niveles e interrelaciones de Cu, Zn y Mn en el suelo y el pasto

El suelo, conjuntamente con la especie vegetal y la fertilización, son los factores más comunes que afectan el contenido mineral de las pasturas. Los desequilibrios de minerales (deficiencias o excesos) en suelos y en los forrajes han sido considerados como responsables de la baja producción y problemas reproductivos de los rumiantes en pastoreo en los trópicos (Klassen, 2010). Las plantas cubren sus necesidades de microelementos minerales a partir de la solución del suelo, por lo que es necesario el estudio de la relación suelo-planta (Depablos *et al.*, 2009).

La capacidad del suelo para suministrar el Cu a las plantas está determinada, entre otros factores por: la cantidad del mineral en el suelo, la roca madre, el pH, la textura, los materiales de desecho, la humedad y las condiciones de drenaje (Gaskin *et al.*, 2003).

Cobo *et al.* (2013) indican que existe correlación ($p < 0.01$) negativa entre el Cu, Zn y Mn con el pH, lo cual hace que las concentraciones de esos elementos esté influenciado en gran medida por la reacción del suelo.

Mellum *et al.* (1998), también describieron una correlación de signo negativo para el par pH-Mn. Muñiz (2008), expresó que los microelementos muestran una marcada dependencia a las variaciones de pH, al aumentar este, disminuye la disponibilidad de Mn, Cu y Zn.

Da Fonseca *et al.* (2010) detectaron correlación negativa entre Mn y Cu con pH. Lindsay (1991), señaló que la solubilidad del Zn es altamente dependiente

del pH y disminuye 100 veces cada vez que se incrementa una unidad, sin embargo, Celeste (2012), encontró que la correlación del Zn con el pH no fue significativa. En América Latina se reporta la disminución de la disponibilidad de Cu, por efecto del incremento del pH (Abreu *et al.*, 2001).

Matos (2001), encontró una correlación altamente significativa del Cu y el Zn con el Ca^{2+} , mientras que el Mn correlacionó significativamente con el Ca^{2+} y altamente significativa con el Na^+ y el K^+ , estos autores además señalan que los microelementos, al igual que las bases cambiables se encuentran retenidos en la solución interior del suelo que desde el punto de vista nutricional son imprescindibles en la fertilidad del suelo, por otra parte, la suma de las bases constituye un buen estimador de los contenidos de Cu, Zn y Mn en el suelo.

Sin embargo, Ratto (2006), expresa que el contenido total de un nutriente en el suelo no siempre se relaciona con la fertilidad química pero es un indicador a utilizar para tener una aproximación de la riqueza potencial del elemento.

Existe una estrecha relación, entre la concentración de oligoelementos en suelo, agua y forraje (Arthington *et al.*, 2003). Las interacciones más importantes del Cu en el suelo, que reducen su disponibilidad, son el Mo, el S y el Fe (Kalmbacher *et al.*, 2005).

El pH del suelo tiene un gran impacto sobre la concentración de ciertos minerales traza en los forrajes, con valores superiores a 6,7 la captación de Mo y S por parte de la planta, aumenta en forma marcada; en cambio, el contenido de Cu y Zn solo disminuye levemente. El Mo es adsorbido por minerales con carga positiva, entre ellos el Cu, debido al aumento de radicales H^+ (López *et al.*, 2002).

Los pastos que crecen sobre terrenos fuertemente ácidos y ricos en Mo se caracterizan por tener valores bajos de Cu (menos de 3 ppm); mientras, los que se desarrollan en suelos alcalinos pobres en Mo pueden contener hasta 17 ppm (Telfer *et al.*, 2005).

Depablos *et al.* (2009) refieren que el Mn para que pueda ser absorbido por las plantas, debe encontrarse como Mn^{2+} o como quelato de Mn. A pH 5,5-6,5 en el suelo, la mayor parte del Mn se encuentra como MnO_2 insoluble, por lo que este debe ser reducido y convertido a formas solubles para su asimilación. La

quelatación del Mn^{2+} previene su reoxidación e incrementa su movilidad y asimilación para las plantas.

El Cu^{2+} forma complejos con la materia orgánica y en la solución del suelo hasta el 98 % del mismo se encuentra quelatado por compuestos orgánicos de bajo peso molecular (aminoácidos, ácidos fenólicos, ácidos polihidroxicarboxílicos, entre otros). En solución acuosa el Cu en dichos compuestos se absorbe menos que el ion Cu^{2+} (Carvajal, 2015).

En cambio, la absorción de Zn es un proceso relativamente fácil para las plantas (Depablos *et al.*, 2009). La deficiencia de Cu es frecuente en suelos ácidos y en suelos con elevada materia orgánica; debido a que en estas condiciones el Cu se une a la materia orgánica, formando compuestos insolubles (Arthington, 2003).

García (2008) en una investigación realizada en unidades pecuarias de la provincia de Villa Clara encontró que el 100 % de las muestras de suelos evaluadas eran deficientes en cobre, en el mismo territorio, pero en diferentes vaquerías. En agroecosistemas de llanura el 41,5 % de las muestras tuvo deficiencia en ese microelemento y en el de premontaña el 22,5 % (Monyori, 2012, Noval *et al.*, 2014); por otra parte encontraron altos porcentajes de muestras con deficiencia de Zn y Mn, e indicaron que la carencia de estos microelementos debe tomarse en cuenta en futuras investigaciones.

El estado de madurez del forraje es de importancia sobre el contenido de minerales en las plantas, y es mayor durante la etapa inicial de crecimiento y decrece gradualmente a medida que la planta madura. Los de menor concentración son el P, Cu, Zn, Fe, Co y Mo; las concentraciones de Cu decrecen de 10 ppm a menos de 4 ppm y el P de 0,25 % a valores inferiores a 0,10 % (Spears 2003, Depablos *et al.*, 2009).

En las regiones tropicales el contenido de minerales de los pastos puede fluctuar entre 5 - 8 ppm de Cu y las leguminosas en las mismas condiciones muestran valores promedio de 8 -10 ppm, en esas concentraciones influyen factores como la zona geográfica y las especies de plantas (McDowell y Arthington, 2005).

Aquellos pastos cuyo contenido es menor de 3 ppm de Cu, producirán manifestaciones de deficiencia en los rumiantes en pastoreo; cuando fluctúa entre 3 a 5 ppm pueden considerarse responsables de la hipocuprosis y entre 7 y 12 ppm se consideran exentos de riesgos, a menos que actúen factores que causen deficiencia secundaria (Suttle, 2002).

Concentraciones de 5 ppm de Cu y de 1-2 ppm de Mo en la MS de los pastos no producen problemas, pero si el Mo aumenta a más de 2 ppm de MS aparecen trastornos que se ponen en evidencia por una disfunción del rumen, que influye en la digestión de celulosa. Cuando la relación Cu: Mo en los pastos es menor a 2:1, se presentan signos de deficiencia (Suttle, 2002).

McDowell y Arthington (2005) definieron los límites críticos de Cu, Zn y Mn en el suelo y en el pasto (Tabla 1).

Tabla 1. Límites críticos de Cu, Zn y Mn en el suelo y en el pasto son sugestivos de deficiencias en el ganado lechero

Elemento	LC en pasto	LC en suelo
Cu (ppm)	10	0.6
Mn (ppm)	40	19
Zn (ppm)	30	2

Fuente: McDowell y Arthington 2005.

3. Materiales y Métodos

El experimento se realizó en la Finca de Recursos Forrajeros, la cual se encuentra situada en las coordenadas 22° 25' 22.9" de latitud Norte y 80° 3' 13.0" de longitud Oeste, perteneciente a la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) "Desembarco del Granma", ubicada a 10 km de la ciudad de Santa Clara, en el Consejo Popular "Antón Díaz".

El suelo de esta zona es llano y se clasifica como Pardo mullido sin carbonato (Hernández *et al.*, 2015).

La toma de muestras de suelo se realizó a 22 parcelas según los procedimientos descritos por Rodríguez (2000). En cada una de las parcelas se tomaron tres muestras de suelo a la profundidad de 0 a 20 cm, posteriormente fueron trasladadas en bolsas de polietileno de 1 kg al Laboratorio de Suelos y Biofertilizantes del CIAP para su procesamiento. Todas se secaron al aire libre; una parte de estas se pasó por un tamiz de 2 mm para realizar los análisis físicos y el resto por un tamiz de 0.5 mm para el análisis químico.

La preparación de las muestras se realizó según (NC: 11464 – 1999).

Se evaluaron los recursos forrajeros, para los que se tuvo en cuenta la distribución de las plantas por familia y por hábito de crecimiento.

Poaceas

Megathyrsus maximus (Jacq.); *Andropogon gayanus* (Kunth); *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf., *Brachiaria ruziziensis* x *Brachiaria decumbens* (*Brachiaria* híbrido CIAT 36087); *Cenchrus purpureum* (Schumach) (CT-115); *Cenchrus purpureum* x *Cenchrus thipoides* (king grass); *Cenchrus ciliaris* (L.), *Chloris gayana* (Kunth); *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Bermuda 68, *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Tifton 85 *Cynodon nlemfuensis* (Vanderyst). *Digitaria decumbens* (Stent)

Fabaceas

Neonotonia wightii (Wight & Arn.) J.A. Lackey; *Teramnus labialis* (L. f.) Spreng; *Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp; *Clitoria ternatea* (L.); *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit; *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth; *Centrosema plumieri* (Benth.); *Centrosema molle* Mart. ex Benth.

Moracea

Morus alba (L.)

Asteracea

Tithonia diversifolia (Hemsl.)

Malvacea

Hibiscus rosa-sinensis (L.)

Acanthaceae

Trichanthera gigantean (Humboldt & Bonpland)

Distribución de las plantas de acuerdo a su hábito de crecimiento:

1) Crecimiento en macolla

Megathyrsus maximus (Jacq.); *Andropogon gayanus* (Kunth); *Cenchrus ciliaris* (L.)

2) Plantas con crecimiento decumbente

Brachiaria brizantha (Hochst. ex A. Rich.) Stapf., *Brachiaria ruziziensis* x *Brachiaria decumbens* (Brachiaria híbrido CIAT 36087)

3) Plantas de crecimiento arbóreo

Gliricidia sepium (Jacq.) Kunth ex Walp *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit; *Morus alba* (L.); *Tithonia diversifolia* (Hemsl.); *Hibiscus rosa-sinensis* (L.); *Trichanthera gigantean* (Humboldt & Bonpland)

4) Plantas de crecimiento voluble

Neonotonia wightii (Wight & Arn.) J.A. Lackey; *Teramnus labialis* (L. f.) Spreng *Clitoria ternatea* (L.); *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth; *Centrosema plumieri* (Benth.); *Centrosema molle* Mart. ex Benth

5) Plantas rastreras

Cynodon nlemfuensis (Vanderyst). *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Bermuda 68, *Cynodon dactylon* (L.) Pers. Tifton 85; *Chloris gayana* (Kunth); *Digitaria decumbens* (Stent)

6) Plantas erectas

Cenchrus purpureum (Schumach) (CT-115); *Cenchrus purpureum* x *Cenchrus thipoides* (king grass)

3.1. Análisis químico del suelo

Se realizó en el Laboratorio de Suelos y Biofertilizantes del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) perteneciente a la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Todos los análisis químicos se realizaron según la Norma Ramal 279 del MINAGRI (NRAG 279, 1980), citado por Cairo (2000).

Materia Orgánica

Se realizó por el método colorimétrico de Walkey y Black por oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado (citado por Jackson, 1970).

Fósforo asimilable

P₂O₅: Por el método de Oniani. Solución extractiva de ácido sulfúrico (0.1 N), por colorimetría.

pH (H₂O): Mediante el potenciómetro. Relación suelo: 1: 2.5 según Hesse (1971) (NC 10390 – 1999) citado por Cairo (2000).

Los minerales trazas (Cu, Zn, Fe y Mn), se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica, según la NRAG 894/1988, previa utilización de solución extractiva de HCl 0.1 N.

3.2. Análisis físico del suelo

Índice de Permeabilidad (Log 10k)

Este indicador aporta una valiosa información para el estado físico del suelo, es uno de los análisis más completos y puede servir para el diagnóstico del manejo ecológico del suelo.

Se determinó según Henin *et al.* (1958) citado por Cairo y Fundora (2005), donde se calculó el logaritmo del coeficiente K para cada muestra utilizando un infiltrómetro según la fórmula:

$$\text{Log } K = (e \cdot V) / (H \cdot S)$$

Dónde:

e - Altura de la columna de suelo

K - CoV - 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 (AE)

Se determinó mediante el método de Henin citado por Cairo y Fundora (2005) eficiente de percolación (NRAG 279, 1980). Este método consiste en la adición de 5 g de suelo en un erlenmeyer, además de 200 ml de agua destilada y dejarlo en reposo durante 30 minutos. Luego, se somete la solución al golpeteo (40 golpes) durante 20 segundos y se tamiza en un tamiz de 0,2 mm. Lo que se queda en el tamiz son los agregados estables.

Factor de estructura (FE)

Este indicador caracteriza la cantidad de arcilla que actúa como cementante en la formación de suelo. Si todas las arcillas contenidas intervienen en la formación de la estructura, el factor equivalente al 100 %, entonces tiene buena estabilidad estructural, si interviene la mitad, 50 %, la estabilidad es mala.

Se halla a través de la determinación de la arcilla sin dispersar (b) y arcilla previamente dispersada, según el análisis mecánico (a). De acuerdo con Vageler y Alten, (1931) citados por Cairo (2006), la fórmula es la siguiente:

$$FE = ((a - b)/a) * 100$$

Procesamiento estadístico

Se determinaron los estadísticos descriptivos para todas las variables del suelo, se realizó análisis de varianza de clasificación simple, empleando la prueba de rangos múltiples con la Dócima de Bonferroni ($P < 0,05$) para la comparación entre familias y hábito de crecimiento.

Se empleó la opción de verificación de la Varianza con prueba de Levene's, cuando el valor-p mostró significación se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, para lo cual se empleó el paquete Statgraphis Centurion Ver. XV.II (Statistical Graphic Corp., USA).

Los valores de agregados estables y factor de estructura fueron transformados a raíz de arcoseno, se empleó la prueba no paramétrica de Games-Howell, del paquete estadístico SPSS-21.

4. Resultados y discusión

4.1. Análisis químico del suelo

Los resultados de los análisis químicos del suelo, muestran valores promedio de materia orgánica (Tabla 2) de 3,00 % \pm 0,58, considerados como mediano (Cairo y Fundora 2005) y similares a los informados por Vargas *et al.* (2002) y Rodríguez *et al.* (2008).

Tabla 2. Estadística descriptiva de algunas variables químicas del suelo en la zona de estudio durante el periodo lluvioso (n=75)

Variable	$\bar{x} \pm DE$	IC 95 %	LC*	Muestras deficientes %
MO (%)	3,00 (0,58)	[2,86; 3,15]		
pH (H ₂ O)	6,47 (0,29)	[6,39; 6,54]		
P ₂ O ₅ (mg/100g)	0,77 (0,35)	[0,68; 0,86]	6	100
Cu (mg kg ⁻¹)	4,68 (0,65)	[4.52; 4.85]	0,60 (4,0**)	0 (15**)
Fe (mg kg ⁻¹)	296,4 (50,07)	[284,15; 308,77]	2,50	0
Mn (mg kg ⁻¹)	102,9 (18,51)	[98,42; 107,52]	19	0
Zn (mg kg ⁻¹)	4,71 (3,32)	[3,90; 5,53]	2 (5,0**)	0 (81**)

*LC: limite crítico establecido y considerado como deficiente en P₂O₅ (mg/100g) (Fundora y Yepis, 2000), y en minerales trazas según McDowell y Arthington (2005) y ** Abreu *et al.*, (2001) y Borkert *et al.*, (2001).

Zanoletti (2016) al realizar estudios en suelo de una unidad pecuaria en producción obtuvo valores de 3,27 % en áreas de pasto natural, ascendiendo significativamente a 3,68 % para zonas establecidas con CT-115 de 17 años.

Según Cairo y 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.

El total de muestras estudiadas, indican que los valores del P₂O₅ se encuentran por debajo del límite crítico (Tabla 2), resultados similares fueron reportados por Vargas (2008), García (2008), Noval (2016), Zanoletti (2016).

Crespo y Duran (1990) afirman que el P_2O_5 es uno de los elementos más deficitarios en los suelos destinados a la producción ganadera de Cuba, además la carencia o exceso de humedad o calor disminuye el contenido de fósforo accesible en el suelo (Cairo y Fundora, 2005).

En relación a estudios realizados por García (2008) y Noval (2016) en áreas de vaquerías comerciales muy cercanas a la zona de este estudio, reportaron amplias carencias en Cu, Zn y Mn; en esta investigación, el total de muestras mostró valores superiores al límite crítico (McDowell y Arthington, 2005), sin embargo, pudieran no encontrarse en la forma disponible.

Al evaluar las concentraciones del Cu y el Zn de acuerdo a los límites críticos propuestos por Abreu *et al.* (2001) y Borkert *et al.* (2001), el 15 % de las muestras de suelo fueron deficientes, y las de Zn en un 81 %, lo que sugiere realizar investigaciones con el objetivo de definir con precisión el límite crítico de estos minerales en los suelos destinados a la producción agropecuaria en Cuba y por cultivo.

La mayoría de los metales pesados presentes en el suelo, se encuentran en su forma química no asimilable y su movilidad es considerablemente muy baja (Mantovi *et al.*, 2003).

La concentración total de metales ofrece información sobre su presencia en el suelo, pero no indica las formas químicas del metal que determinan su biodisponibilidad (Yongfeng *et al.*, 2008; García, 2014).

Patorczyk (2004) al aplicar lodo de alcantarillado al suelo, solo el 29 % del total de Zn se encontró en su forma disponible a los seis años posteriores a su aplicación.

Los valores del Cu, Zn y Mn, determinados en este suelo, son antagonizados por los niveles de materia orgánica, que forman uniones muy fuertes entre ambos, y lo hacen no asimilable para la planta y por tanto se afecta la disponibilidad de ese elemento al animal, situación ésta observada por (Arthington, 2003 y Stanisaw y Magorzata, 2012).

Los metales pesados y metaloides están envueltos en una serie de interacciones químicas y biológicas complejas. Los más importantes factores

que afectan la movilidad de los metales en el suelo son: el pH, solventes naturales, presencia y concentración de ligandos orgánicos e inorgánicos, que incluyen ácido fulvicos y húmicos, nutrientes y exudados de las raíces (Violante *et al.*, 2010).

El Cu^{2+} forma complejos con la materia orgánica y en la solución del suelo, hasta el 98 % del mismo se encuentra quelatado por compuestos orgánicos de bajo peso molecular (aminoácidos, ácidos fenólicos, ácidos polihidroxicarboxílicos) (Depablos *et al.*, 2009).

Aun cuando las disponibilidades del Cu, Zn y Mn son suficientes, Roca *et al.* (2007), señalan que esos minerales pudieran encontrarse atrapados en las estructuras cristalinas, o bien, adsorbidos en los coloides del suelo sin posibilidad de disponibilidad para las plantas, por lo que la presencia de los microelementos en el suelo no dependen únicamente de los contenidos elevados de metales totales, sino también de parámetros edáficos que controlan la fuerte absorción en los coloides.

La materia orgánica por su relativo contenido de grupos funcionales (CO_2 , OH, C=C, COOH, SH, CO_2H) tiene gran afinidad por los iones metálicos que forman complejos órganos metálicos. Las plantas, al no absorber complejos de tamaño grande pueden sufrir deficiencias de elementos traza en presencia de cantidades importantes de materia orgánica, esta a su vez logra absorber tan fuertemente a algunos metales, como el Cu, que no están disponibles para las plantas dando lugar a deficiencias (Basta *et al.*, 2005). Además Roca *et al.* (2007) señalan que el contenido de materia orgánica, la arcilla y la actividad microbiana son propiedades del suelo que controlan la disponibilidad del Cu, Mn y Zn.

Los suelos con pastos establecidos, desempeñan un papel trascendental por la cobertura de la superficie, ya que pueden retener y reducir la emisión de carbono a la atmósfera (Ruiz y Febles, 2005), lo que incrementa la cantidad de carbono en el suelo y facilita la afinidad por iones metálicos; disminuyendo la disponibilidad a la planta.

Un relativo alto o bajo contenido de arcillas es un indicador de las concentraciones de Cu y Zn y de la retención de nutrientes (Diatta *et al.*, 2014).

Según Hazelton y Murphy (2007), un suelo productivo debe tener un contenido de carbono orgánico de al menos 23,2 g kg⁻¹. El predominio de suelos con Corg < 25 g kg⁻¹ que son caracterizados por bajos niveles de carbono, favorecen los procesos de disponibilidad de nutrientes, por otra parte, en suelos orgánicos (C > 100 g kg⁻¹) la disponibilidad de Cu, Zn, Fe y Mn están fuertemente controlados por el contenido de carbono orgánico.

Según Rengel (2015), el suelo puede contener una cantidad relativamente alta de Zn, pero la fracción disponible para la planta puede ser baja, pues las características químicas del suelo favorecen la escasa formación de complejos solubles para la planta; estas condiciones suceden comúnmente en condiciones tropicales, en suelos con alto o bajo pH, alto o bajo contenido de materia orgánica, suelos calcáreos, sódicos o arenosos, humedales o con mal drenaje (Rehman *et al.*, 2012).

Las concentraciones de Fe y Mn, son muy altos, en el caso del Fe, los resultados son similares a los obtenidos por Colombo *et al.* (2014) y Kalmbacher *et al.* (2005) y superiores a lo reportado por Noval (2016). Por lo que estos valores superiores al límite crítico no se consideran una limitante.

Las concentraciones de Fe en el suelo son generalmente altas, en cambio su disponibilidad para las plantas es muy baja debido a la baja solubilidad de óxidos de Fe (Rengel, 2015), sin embargo, los microorganismos liberan sideróforos que pueden solubilizar el Fe presente en el suelo (Colombo *et al.*, 2014).

Cobo *et al.* (2013) en diferentes agrupaciones de suelo, encontraron los mayores valores en los Ferralíticos y Pardos. Pagel *et al.* (1982) expresan que en los suelos ricos en arcillas sobre todo del tipo 2:1, la insuficiencia de Mn es poco probable, ya que la elevada capacidad de intercambio catiónico de estos suelos preservan el Mn intercambiable del lavado.

Roca (2007) considera que la distribución del Mn en el perfil del suelo está claramente asociada a la distribución de la materia orgánica en el perfil de suelo y a la profundidad; encontrándose los valores más altos siempre en superficie, debido a la fuerte afinidad por los complejos órgano-minerales que evitan su pérdida por lixiviación.

La disponibilidad de los microelementos en el suelo depende de varios factores tales como: el pH, el contenido de materia orgánica, la actividad microbiológica, la textura del suelo, el potencial redox, el contenido de carbonato de calcio y las interacciones con otros macro y micronutrientes. Investigaciones realizadas demuestran la existencia de correlación entre los microelementos y algunas características químicas del suelo que inciden en el contenido y movilidad en el perfil del suelo, por ejemplo, el pH elevado de los suelos ocasiona la retención de estos elementos, fijándolos en formas no disponibles para las plantas (Fancelli, 2006).

El análisis de los niveles de materia orgánica del suelo de acuerdo al hábito de crecimiento de las plantas (Figura 1), mostró valores significativos para el caso de las gramíneas con crecimiento en macolla.

El incremento de los niveles de materia orgánica está asociado a importantes cantidades del carbono orgánico del suelo (Marinari *et al.*, 2010), con su repercusión en la disponibilidad de microminerales.

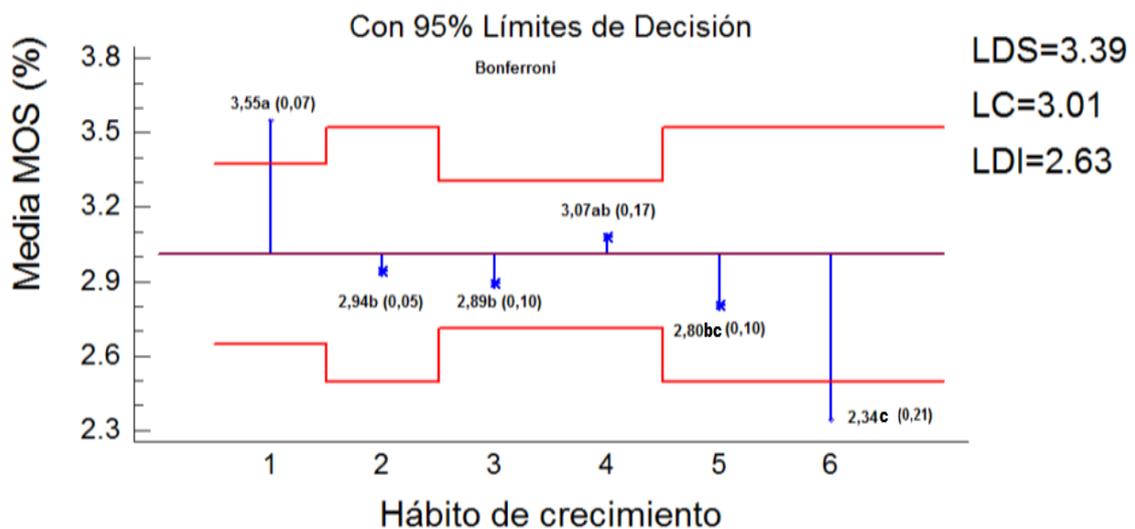


Figura 1. Análisis de las medias de la materia orgánica del suelo de acuerdo al hábito de crecimiento de las plantas establecidas.

Leyenda: Hábito de crecimiento: 1-Macolla; 2-Decumbente; 3-Arbórea; 4-Voluble; 5-Rastrera; 6- Erecto.

Número entre paréntesis (Error Estándar); LDS: límite de decisión superior; LDI: límite de decisión inferior; LC: línea central

El hábito de crecimiento de las plantas en macolla y su distancia entre surcos facilita la incorporación de su forraje una vez cortado y depositado al suelo en forma de mulch; Bajoriené *et al.* (2013) al evaluar diferentes fuentes de arropes, entre ellas la paja de gramíneas, reportó importantes incrementos del contenido de carbono orgánico del suelo.

En el caso de las plantas de crecimiento erecto (6), compuestas por el *Cenchrus purpureum* (Schumach) (CT-115) y *Cenchrus purpureum* x *Cenchrus thiphoides* (king grass) el contenido de materia orgánica del suelo, fue diferente de los hábitos de crecimiento 2 (decumbente), 3 (arbóreo) y 4 (voluble) y no de las plantas con hábito de crecimiento rastroso (5).

Los recursos forrajeros con hábito de crecimiento erecto fueron los de menor significación, con mínimos de 1,29 % MOS; hay que tener en cuenta que el área de estudio es dedicada a la producción de semilla y no al pastoreo, por lo que el aporte de materia orgánica proviene de un mínimo de hojas apicales, estas en su mayoría son utilizadas en el consumo animal.

C. purpureum (CT-115) es un importante suministrador de hojarasca al suelo, (Sánchez *et al.*, 2007); el cual presenta importantes contenidos de sílice, lignina, vainillina y siringil aldehído (Valenciaga *et al.*, 2009 y Fortes *et al.*, 2012) y menor contenido de proteína bruta de su material muerto que en definitiva es el que cubre el suelo (Nava *et al.*, 2013).

Poerschmann *et al.* (2005), y Christiernin (2008), demostraron que los polímeros de lignina con mayor cantidad de unidades siringílicas, son colonizados más fácilmente por los microorganismos que los que contienen mayor cantidad de unidades guaiacílicas, debido a que la estructura de la vainillina es muy compacta, lo que la hace inaccesible a los microorganismos (Balakshim *et al.*, 2004).

Generalmente en los pastos y forrajes que se destinan a la producción de semilla, el mayor volumen de hojarasca se incorpora posterior a la cosecha de la simiente, las que contienen un elevado tenor de las sustancias mencionadas anteriormente; sin embargo, cuando se incorpora al suelo en su momento óptimo no hay duda de la importancia de la hojarasca para la estabilidad y el funcionamiento del ecosistema, pues constituye la fuente principal de

circulación de materia orgánica, energía y nutrientes entre las plantas y el suelo (Crespo *et al.*, 2005).

Mantovi *et al.* (2003), expresan que la actividad enzimática de la biomasa microbial del suelo es en extremo significativamente reducida.

Es conocida la utilidad de la hojarasca como mejoradora de las condiciones físico-químicas y en la regulación del régimen de fluctuación diaria de la temperatura del suelo. La hojarasca desempeña, además, un importante papel hidrológico y antierosivo, y atenúa las bruscas fluctuaciones de la humedad de la superficie del suelo (Kolmans y Vásquez, 1996).

La reacción del suelo es la principal propiedad química del suelo que controla la disponibilidad, solubilidad de los micronutrientes, así, como el ecosistema suelo (Diatta *et al.*, 2014). La presencia de altos porcentos de gramíneas disminuye el pH del suelo y la actividad microbiana (Potthast *et al.*, 2010).

El pH de la zona de estudio se clasifica como ligeramente ácido (Cairo y Fundora, 2005). En esta investigación el 55 % de los valores de pH se encuentran entre 5,5 - 6,5 (Tabla 2). Según Depablos *et al.* (2009) cuando los valores de pH están en ese rango la mayor parte del Mn se encuentra en el suelo como MnO_2 , que es insoluble, afectando su asimilación por las plantas y debe ser reducido a formas solubles.

La capacidad del suelo para suministrar el Cu a las plantas está determinada, entre otros factores por: la cantidad del mineral en el suelo, la roca madre, el pH, la textura, los materiales de desecho, la humedad y las condiciones de drenaje (Gaskin *et al.*, 2003), los valores de pH disminuyen durante el periodo lluvioso producto de lavado de bases.

Las interacciones más importantes del Cu en el suelo, que reducen su disponibilidad, son el Mo, el S y el Fe (Kalmbacher *et al.*, 2005), y en este caso las concentraciones de Fe en el suelo son en extremo alto, y que además antagonizan al Mn (McDowell y Arthington, 2005).

4.2. Análisis físico del suelo

El índice de permeabilidad (Tabla 3) como valor medio (2,81 Log 10 k) es clasificado como excelente (Cairo, 2006) lo cual está en concordancia con un suelo de óptima fertilidad física y buen estado estructural (Noval, 2000 y Vargas *et al.*, 2002).

Tabla 3. Estadística descriptiva de algunas variables físicas del suelo en la zona de estudio durante el periodo lluvioso (n=75)

Variable	$\bar{x} \pm DE$	IC 95 %	LC*	Muestras deficientes %
Índice de Permeabilidad (Log 10 k)	2,81 (0,46)	[2,70; 2,93]	1	0
Factor de Estructura (%)	58,6 (9,07)	[56,4; 60,9]	55	33
Agregados Estables (%)	55,0 (6,78)	[53,4; 56,7]	40	0

*LC: limite crítico establecido y considerado como deficiente en el caso del índice de permeabilidad y el factor de estructura como malo según Cairo, (2006).

Colás (2007) expresa 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 y químicas que han tenido lugar en el suelo.

El factor de estructura como valor medio (58,6 %) es clasificado como regular (Tabla 3), y el 33 % de las muestras son clasificadas de malo (Cairo, 2006) en las que se encuentran las parcelas ocupadas por *A. gayanus*, *M. maximus*, *C. ciliaris*, *H. rosa-sinensis*, *N. wightii*, *T. labialis*, *G. sepium*, *L. leucocephala*, *P. phaseoloides* y *C. plumieri*.

Los valores del índice de permeabilidad del suelo (Figura 2) mostraron valores significativos, en las familias representadas por el valor tres en las que se encuentran: *Moracea*, *Asteracea*, *Malvacea* y *Acanthacea*, cuyos géneros estudiados son: *M. alba*, *T. diversifolia*, *H. rosa-sinensis* y *T. gigantea*.

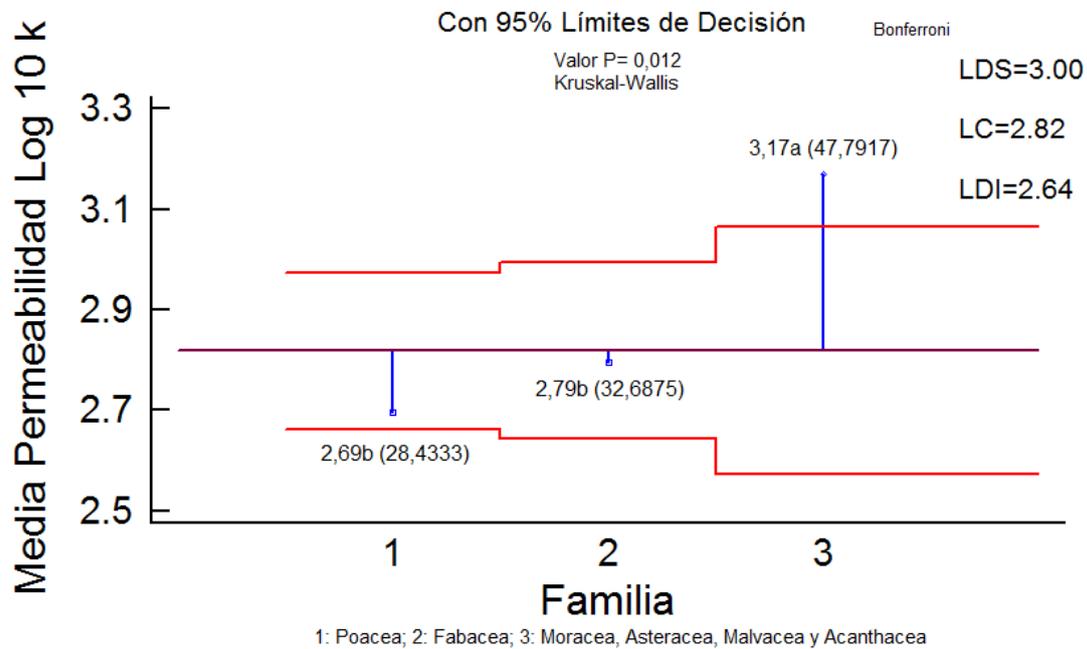


Figura 2. Análisis de los valores medios del índice de permeabilidad del suelo en estudio de acuerdo a las familias experimentadas

Número entre paréntesis (rango promedio de Kruskal-Wallis); LDS: límite de decisión superior; LDI: límite de decisión inferior; LC: línea central

En todos los casos valores del índice de permeabilidad mayores de 2 Log 10 K, indican que el suelo presenta una mayor cantidad de macroporos, por tanto se encuentran mejor estructurados, permitiendo un mayor movimiento del agua hacia las capas inferiores, reduciendo las pérdidas de suelo por arrastre de las aguas; en las plantas ésta mejora permite que el sistema radical se desarrolle con suficiente oxígeno, ocurriendo un eficiente proceso de fotosíntesis (Primavesi, 1990).

Este movimiento del agua hacia las capas más inferiores del suelo, sugieren que muchos de los nutrientes entre ellos los microelementos pudieran lixiviar a horizontes más profundos y mantenerse fuera de la acción de las raíces; que

en el caso de las gramíneas de pastoreo su mayor volumen se encuentra en capas muy superficiales (Hernández, 2003 y Crespo, 2011).

La mayor parte de la MOS se encuentra en los primeros 15 cm de profundidad, que proviene fundamentalmente de la hojarasca de la cubierta vegetal y de las raíces de las plantas que mueren y rejuvenecen (Liu, 2006).

Aunque en esta investigación no se cuantificó la meso y macrofauna del suelo, se observó que posterior a la poda de las plantas para ser utilizado sus tallos como semilla, el suelo se encontraba cubierto por un mantillo de hojas en proceso de descomposición donde se pudo observar diferentes organismos vivos, preferentemente en las parcelas establecidas con especies arbóreas.

El valor de los agregados estables (Figura 3) fue significativo y evaluado de bueno para las familias que se encierran por el valor tres, estas difieren de las Poáceas y las Fabáceas que no difirieron entre sí y se categorizan de regular (Cairo, 2006).

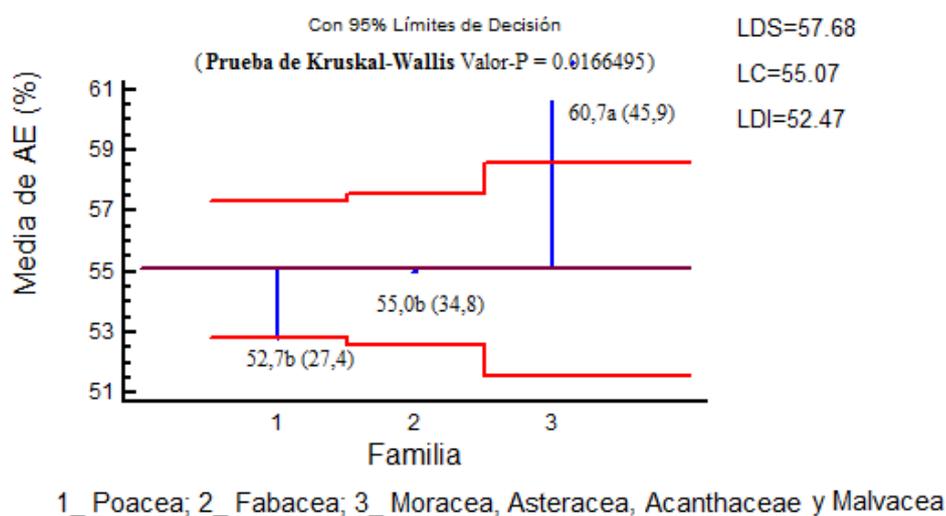


Figura 3. Análisis de los valores medios de los agregados estables del suelo de acuerdo a las familias estudiadas

Número entre paréntesis (rango promedio de Kruskal-Wallis); LDS: límite de decisión superior; LDI: límite de decisión inferior; LC: línea central

En el caso de los agregados estables además influyó significativamente ($p < 0,05$) cuando se comparó por hábito de crecimiento en las arbóreas que además de las ya descritas por familias, incluyen a la *L. leucocephala* y *G. sepium*.

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.

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 el índice de permeabilidad presentó valores por encima de dos en las parcelas por el conjunto de familias que se representan por el valor tres.

El sistema radicular de estas plantas es muy fuerte y produce grietas, por lo que favorece la porosidad, Franke *et al.* (2011) demostraron, que el tipo de vegetación en el pastizal influye notablemente en las propiedades del suelo, lo que se debe principalmente a la acción bioturbadora de las raíces de los árboles y el incremento de la macrofauna del suelo, los que crean canales, poros, agregados y montículos de tierra que influyen profundamente en el transporte de gases y de agua en el suelo, (Brussaard, 1997), mejorando la estructura (Laakso y Setala, 1998), la caída natural de las hojas y las podas ayudan a incrementar la disponibilidad de agua, de luz y de nutrimentos para todos los componentes del sistema Sharma *et al.* (1998) y Noval (2000).

La mayoría de los estudios referenciados anteriormente se realizaron en condiciones de pastoreo, donde existe incorporación de excretas y orina al suelo, además, indican una relación entre el índice de permeabilidad y el factor

de estructura, por otra parte, los agregados estables en este estudio, indican que el 72 % de las muestras se encuentran clasificadas de regular, por lo que no solamente la acción de las raíces y la hojarasca son necesarias para una adecuada calidad del suelo, es ineludible la aplicación de materia orgánica, que facilite la multiplicación y acción de los organismos del suelo.

Los valores del factor de estructura (Figura 4), fueron significativos para las especies de plantas en estudio con hábito de crecimiento rastrero y erecto estas pertenecen a la familia de las Poáceas. Estos resultados son contradictorios a los valores obtenidos en el índice de permeabilidad y agregados estables. No obstante, las plantas rastreras mantienen el suelo totalmente cubierto, con mayores puntos de enraizamiento, evitan la acción directa de la radiación solar y las lluvias, al igual que las de crecimiento erecto, pero a un nivel más alto.

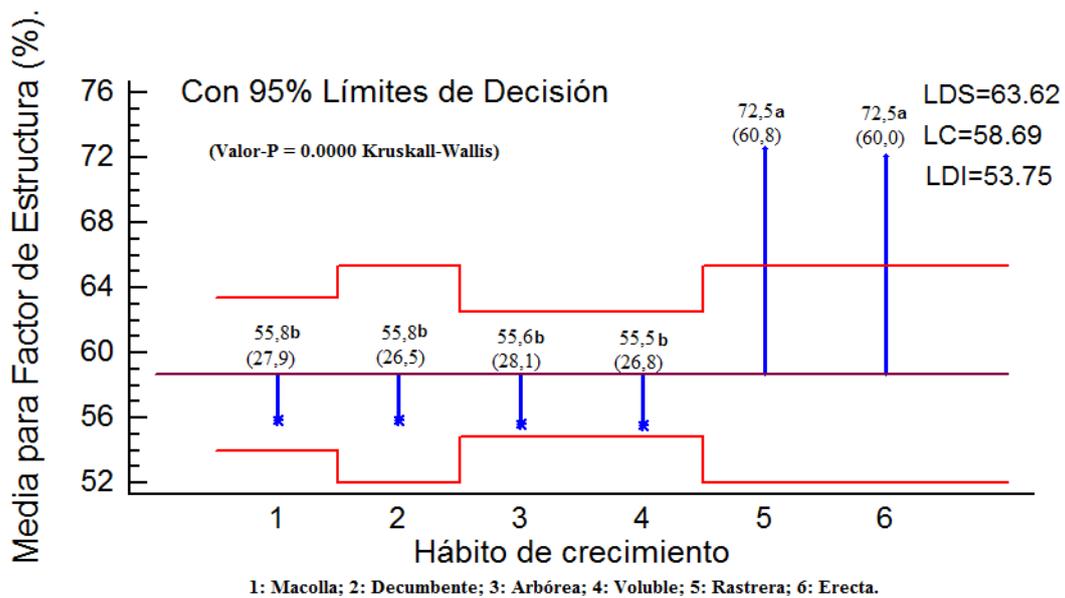


Figura 4. Análisis de los valores medios del factor de estructura del suelo de acuerdo al hábito de crecimiento de las plantas estudiadas

Número entre paréntesis (rango promedio de Kruskal-Wallis); LDS: límite de decisión superior; LDI: límite de decisión inferior; LC: línea central

Meza y Geissert (2003), al determinar estructura, agregación y porosidad en suelos forestales, señalan que la estabilidad estructural se correlaciona fuertemente con el contenido de carbono orgánico del suelo ($r = 0.88$; $p =$

0.002) y con la microporosidad ($r = 0.97$; $p = 0.001$). Asimismo, el diámetro medio ponderado se correlaciona con la retención de agua al punto de marchitez permanente ($r = 0.83$; $p = 0.04$). Dichas relaciones indican que la disminución de la estabilidad estructural es causada por la pérdida del carbono orgánico del suelo, lo que provoca una reducción de la microporosidad y del contenido de agua al punto de marchitez permanente.

5. Conclusiones

1. Los análisis químicos mostraron que el suelo se clasifica como ligeramente ácido de acuerdo al pH, con valores de materia orgánica considerados como medianos y concentraciones de P_2O_5 por debajo del límite crítico.
2. El índice de permeabilidad ($\text{Log } 10 k$) se clasificó de excelente, los valores significativos se encontraron en las plantas de las familias *Moracea*, *Asteracea*, *Malvacea* y *Acanthacea*.
3. Los agregados estables se clasificaron como buenos en las parcelas de las familias *Moracea*, *Asteracea*, *Malvacea* y *Acanthacea* y en las especies *Leucaena leucocephala* (Lam) y *Gliricidida sepium* (Jacq). de acuerdo a su hábito de crecimiento arbóreo.
4. El factor de estructura se clasificó de bueno y mostró valores significativos en las plantas con hábito de crecimiento erecto y rastro; mientras que en las restantes áreas fue evaluado de regular, aunque un 33 % de las muestras mostró resultados por debajo del límite crítico.
5. Las concentraciones de Mn y Fe en su totalidad estuvieron por encima del límite crítico, no así en el caso del Cu y el Zn

6. Recomendaciones

1. Continuar los estudios relacionados con la concentración de minerales en el sistema suelo y su relación con los componentes planta–animal en diferentes momentos climáticos.
2. Incluir en el sistema especies arbóreas que faciliten el reciclado de nutrientes.

7. Referencias bibliográficas

- Abreu, C. A., Ferreira M. E. y Borkert. E. C. 2001. Disponibilidades e avaliação de elementos cationicos: Zinco e Cobre. Em Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura. CNPq/ FAPESP/ POTAFOS. p. 125-150.
- Abreu, C. A., M. E. Ferreira y E. C. Borkert. 2001. Disponibilidades e avaliação de elementos cationicos: Zinco e Cobre. Em Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura. CNPq/ FAPESP/ POTAFOS. p. 125-150
- 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.
- Arthington, J. 2003. Mineral antagonisms may influence copper deficiencies. *Feedstuffs*; 75 (24): 11 - 17.
- Bajorienė Kristina, Darija Jodaugienė, Rita Pupalienė, y Auõra Sinkevičienė. 2013. Effect of organic mulches on the content of organic carbon in the soil. *Estonian Journal of Ecology*, 62, 2, 100-106 doi: 10.3176/eco.2013.2.02.
- Balakshim, M.Y., Capanema, E.A., Chen, C.L. y Graez, S. 2004. Elucidation of the structures of residual and dissolved pine kraft lignins using an HMQC-NMR technique. *J. Agric. Food Chem.*51:6116
- Basta, N.T., Ryan, J.A. y Chaney, R.L., 2005. Trace Element Chemistry in Residual-Treated Soil, Key Concepts and Metal Bioavailability. *J. Environ. Qual.*34: 49-63.
- Bhandral, R.; Sagggar, S.; Bolá n, 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

- Blanchart, E., Albrecht, A.A., Chevallier, T. & Hartmann, C. 2004. The respective roles of roots and earthworms in restoring physical properties of vertisol under a *Digitaria decumbens* pasture (Martinique, WI). *Agric. Ecosyst. Environ.* 103:343
- Borkert, C. M. A. Pavan e O. C. Bataglia. 2001. Disponibilidades e avaliação de elementos catiónicos: Ferro e Manganês. Em *Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura*. (M. E. Ferreira *et al.*, eds.), Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS. p. 151- 185
- 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.
- Brussaard, L. 1997. Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. *Ambio*. Vol 26. p. 563.
- Bugarian, J. O. 2012. La interacción suelo, planta, animal en un sistema silvopastoril. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. Volumen 19:2 2012
- Cairo, P. 2006. *Edafología Práctica*. La Habana. Cuba 150 p.
- Cairo, P., y Fundora, O. 2005. *Edafología*. Primera parte. Editorial Felix Varela. La Habana, Cuba. 258 p.
- Cairo, P.; Fundora, O. 2005. *Edafología*. Primera parte. Editorial Felix Varela. La Habana, Cuba. p.265
- Carvajal de la Haza Sheila. 2015. Efecto de la aplicación de ramnolípido en la fitoextracción de cobre por plantas de *Hordeum vulgare* L. y *Brassica juncea* L. en suelos contaminados artificialmente. Tesis. Universidad de Sevilla Escuela Técnica Superior De Ingeniería Agronómica. 87p.
- Celeste, M. 2012. Historia de uso del suelo y contenido de micronutrientes en argiudoles del centro de la provincia de Santa Fe (Argentina). *Ciencia del Suelo*, 30(1) Buenos Aires. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850> [consultado: 8 abril de 2018].

- Christiernin, M. 2008. Composition of lignin in outer cell-wall layers. Disponible: <http://urn.kb.se/urn:nbn:se:kth:diva-4036.html>. Consultado: 22 de enero de 2018.
- Cobo Vidal Yakelin., Angarica, B. E., Martín, G. G., Villazón G. J. A., Serrano G. A. 2013. Disponibilidad de Cobre, Zinc y Manganeseo en suelos de importancia agrícola. Revista Granma Ciencia. 17: 2. ISSN 1027-975X
- 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
- 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
- Colombo, C., Palumbo, G., Zheng, H. J., Pinto, R. y Cesco, S. 2014. Review on iron availability in soil: interaction of Fe minerals, plants and microbes. Journal of Soils and Sediments 14: 538-548.
- Crespo, G. 2005. Fertilidad del suelo en ecosistemas de pastizales. I Congreso Internacional de Producción Animal. El Foro Latinoamericano de Pastos y Forrajes. [CD- ROM].
- Crespo, G. 2011. Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 45: 4, 343-348.
- 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.; Rodríguez, I.; Ortiz, J.; Torres, V. & Cabrera, C. 2005. El reciclaje de los nutrientes en el sistema suelo-planta-animal. Una contribución al conocimiento científico en Cuba. (Eds. G. Crespo e Idalmis Rodríguez). Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 86 p
- 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. D Crespo, Duran G, J.L. 1990. Vías para disminuir el déficit de

fertilizantes y la erosión de los suelos. Seminario científico internacional XXV aniversario del Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba: 32 departamento de Pastos. San José de Las Lajas. La Habana, Cuba. p.72.

Da Fonseca, A. F., Caires, E. F. y Barth, G. 2010. Extraction methods and availability of micronutrients for wheat under a no-till with a surface application of lime. *Sci. Agric.*, 67(1):60-70.

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

Depablos, L., Godoy, S., Chicco., C.F y Ordeñez, J. 2009. Nutrición mineral en sistemas ganaderos de las sabanas centrales de Venezuela. *Zootecnia Trop.*, 27(1): 25-37

Diatta, J., Grzebisz, W., Karolina Frąckowiak-pawlak., Agnieszka Andrzejewska., Milena Brzykcy. 2014. Site-specific evaluation of Cu, Zn, Fe and Mn availability in arable soils. *Zemdirbyste-Agriculture*. p. 235–242 DOI 10.13080/z-a.2014.101.030

Fancelli, A. L. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. Pp 11 - 27. En: M Vázquez(ed). *Micronutrientes en la agricultura*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207 pp.

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.

Fortes Daylenis, Herrera, R. S., García, M., Cruz, M. Ana y Romero Aida. 2012. Composición química de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 utilizado como banco de biomasa. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 46, Número 3. 321-329.

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

- Fundora, O., Yepis., Olga. 2000. Ahorro de fertilizantes en empresas de cultivos varios y limitación de la contaminación ambiental. XIII Fórum de Ciencia y Técnica. Santa Clara, Cuba.
- García, J.R. 2008. Relación entre la cupremia y los indicadores reproductivos de la hembra bovina. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias veterinarias. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA)- Universidad Agraria de la Habana —Fructuoso Rodríguez Pérezll (UNAH).
- García, J.R. 2008. Relación entre la cupremia y los indicadores reproductivos de la hembra bovina. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias veterinarias. Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA) - Universidad Agraria de la Habana —Fructuoso Rodríguez Pérezll (UNAH).
- García-Gallegos Elizabeth., Elizabeth Hernández-Acosta., Acevedo-Sandoval O A., Prieto-García, F., Luna-Zendejas H. S. 2014. Cu, Fe, Mn y Zn en suelos agrícolas localizados al noroeste de Tlaxcala, México. Revista Iberoamericana de Ciencias. ISSN 2334-2501.
- Gaskin, Julia W., Brobst, R.B., Miller, W.P., y Tollner, E.W. 2003. Long-Term Biosolids Application Effects on Metal Concentrations in Soil and Bermudagrass Forage. *Journal of Environmental Quality* 32:146-152
- Gambaudo, S., María Sofía Racca Madoery y Fontanetto. 2011. Respuesta al agregado de micronutrientes en el cultivo de Soja en suelos de diferente aptitud agrícola. International Plant Nutrition Institute. No 3 p1. www.inip.net/lasc [consultado 3-5-2018]
- 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.
- Guggenberger, G., Thomas, R.J. & Zech, W. 1996. Soil organic matter within earthworm casts of an anecic-endogeic tropical pasture community, Colombia. *Appl. Soil Ecol.* 3:263

- 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.
- Hazelton P., Murphy B. 2007. Interpreting soil test results. What do all the numbers mean? Pam Hazelton and NSW Department of Natural Resources, 160p.
- Henin, S.; Gras, R.; Monnier, G. 2002. El perfil cultural: El estado físico del suelo y su consecuencias agronómicas, Ediciones Mundi Prensa, Madrid., p. 258.
- Hernández, J. A., Pérez, J. J. M., Bosch, I. D. y Castro S. N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; Instituto de suelos. ISBN: 978-959-7023-77-7. 93p
- 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 & Biochemistry. 34: 1563-1570.
- 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
- Jackson, M.L. 1970. Análisis Químico de Suelos. Univ. de Wisconsin. p 662.
- Jones, G. B., y Tracy, B. F. 2013. Evaluating seasonal variation in mineral concentration of cool-season pasture herbage. Grass Forage Sci. 70:94-101
- Kalmbacher, R.S., Ezenwa, E.V., Arthington, J.D., Martin, F.G. 2005. Sulphur fertilization of bahiagrass with varying levels of nitrogen fertilization on a Florida Spodosol. Agron. J. 97: 661-667

- Klassen, N. 2010. Para animales en pastoreo. Suplementación con minerales. Disponible:<http://archivo.abc.com.py/suplementos/rural/articulos.php?pid=461989> [Consultado enero, 2018].
- Kolmans, E. y Vásquez, D. 1996. Manual de Agricultura Ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación. Maela-SIMAS. Nicaragua. 222 p.
- Laakso, J. y Setälä, H. 1998. 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.
- Lindsay, W. L. 1991. Inorganic equilibrium affecting micronutrients in soils. In *Micronutrients in Agriculture* (Mortvedt, J.J. et al. eds.) Second Edition. SSSA Inc. Madison. p. 427-476.
- Liu, P. 2006. Differential responses of litter decomposition to increases soil nutrients and water between contrasting grassland species of Inner Mongolia. *CATENA*. 60:230
- Lok, Sandra; Crespo, G.; Frómata, E.; Fraga, S. 2004. Caracterización de la dinámica edáfica y productiva de un sistema silvopastoril basado en *Leucaena leucocephala* y *Panicum maximum*. En: VI Taller Silvopastoril. “Los árboles y arbustos en la ganadería”. EEPF “Indio Hatuey”. ISBN 959-16-0285-1. [CD-ROM].
- López-Alonso, M., Benedito, J.L., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J. y Shore, R.F. 2002. Cattle as biomonitors of soil arsenic, copper and zinc concentrations in Galicia (NW Spain). *Arch Environ Contam Toxicol* 43: 103– 108.
- Mantovi, P., Bonazzi, G., Elena Maestri y Marmiroli, N. 2003. Accumulation of copper and zinc from liquid manure in agricultural soils and crop plants. *Plant and Soil* 250: 249–257.

- Marinari, S., Lagomarsino, A., Moscatelli, M. C., Di Tizio, A. & Campiglia, E. 2010. Soil carbon and nitrogen mineralization kinetics in organic and conventional three-year cropping systems. *Soil & Tillage Research*, 109, 161-168.
- Márquez-Madrid, M., Gutiérrez-Bañuelos, H., Bañuelos-Valenzuela, R., Muro-Reyes A., Valdez-Cepeda David. 2017. Macro-mineral concentrations in soil and forage in three grassland sites at Zacatecas *Rev Mex Cienc Pecu*; 8(4):437-443 <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4197>
- 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.
- Matos, A. T. (2001). Mobility of heavy metal as related to soil chemical and mineralogical characteristic of Brazilian soils. *Environmental Pollution* 111:429-459.
- McDowell, L.R., y Arthington. 2005. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Cuarta Edición. Universidad de La Florida. IFAS. E.E.U.U. 91p.
- Mellum, H. K; A. K. M. Arnesen y B. R Singh. 1998. Extractability and plant uptake of heavy metals in alum shale soils. *Communi. Soil Sci. Plant Anal.*, 29(9-10):1183-1198.
- 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.
- Meza, P. E. y Geissert K. D. 2003. Estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del cofre de perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 5(2):57-60. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49750209> [Consultado: mayo 10 de 2018]
- Monyori, N.H. 2012. Efecto de la suplementación parenteral de Cu, Zn y Mn sobre el comportamiento bio-reproductivo en hembras bovinas lecheras en diferentes agroecosistemas ganaderos de la provincia de Villa Clara. Tesis

Maestría. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ciencias Agropecuarias Departamento y Carrera de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

Muñiz, O. 2008. Los microelementos en la agricultura. AGRINFOR. La Habana. 132 p.

Nava, J., Gutierrez, E., Herrera, S.R., Zavala, F., Olivares, E., Treviño, E., Bernal, H., y Valdés, C. 2013. Rendimiento y composición química del pasto CT-115 (*Pennisetum purpureum*) establecido a dos densidades y en dos fechas de siembra en Marín, Nuevo León, México. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 47: 4. 419-424. ISSN: 0034-7485.

Noval, A. E. 2000. Importancia de la integración del árbol en la fertilidad de los suelos pecuarios. Tesis de Maestría, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, Cuba. 107p.

Noval, A. E. 2016. Suplementación parenteral de Cu, Zn y Mn en vacas lecheras en periodo de transición en agroecosistemas carenciales en el sistema suelo-planta-animal. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas- Instituto de Ciencia Animal. 154p.

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

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.

NRAG 279. 1980. Suelos. Análisis químico. Reglas generales. Ministerio de la Agricultura. Dirección de normalización, metrología y control de calidad. 60 p.

NRAG 894/1988. Suelos. Análisis químico. Determinación de Cu, Zn, Fe y Mn

ONEI. 2007. Clasificación agroproductiva de los suelos de Cuba, año 2001.

Disponible: < <http://www.onei.cu/anuariopdf/capitulo1/0128.pdf>>

[Consultado: marzo 3, 2018]

- Pagel, H; J. Enzmann, y H. Mutscher. 1982. Pflanzennährstoffe in tropischen boden ihre Bestimmung und Bewertung. Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlin. 13 p p.
- Paretas, J.J. 1993. La producción bovina en Cuba. ACPA 1. p13.
- Patorczyk-Pytlikb. 2004. Chemical forms of zinc in soil two, four and six years after application of sewage sludge and vermicompost. Zesz. Probl. Post. *Nauk Rol.*, 505 (2): 945--952. (in Polish)
- Pinheiro, L.C. 2004. Pastoreo Racional Voisin. Tecnología Agroecológica para el Tercer Milenio. Editorial Hemisferio Sur. p. 336.
- Poerschmann, J., Gathmann,A., Augustin, J., Langer, U. y Górecki, T. 2005. Molecular Composition of Leaves and Stems of Genetically Modified Bt and Near-Isogenic Non-Bt Maize- Characterization of Lignin Patterns. *J. Environ. Qual.* 34:1508
- Potthast, K., Hamer, U. & Makeschin, F. 2010. Impact of litter quality on mineralization processes in managed and abandoned pasture soils in Southern Ecuador. *Soil Biol. Biochem.* 42: 56
- Primavesi, Ana. 1990. Manejo ecológico do solo. A agricultura em regioes tropicais livraria Novel. Sao Paulo, Brasil, p. 549
- Quintero, D. R. 2008. Efectos de la aplicación de elementos menores en caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca. En www.tecnicana.com. tec_V12:20 p18-26 [consultado 4-4-2018]
- Ratto, S. E. 2006. Los microelementos en el sistema productivo del área pampeana. Pp 79-112. En: M Vázquez (ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207pp.
- Rehman, H.-u., Aziz, T., Farooq, M., Wakeel, A., Rengel, Z. 2012. Zinc nutrition in rice production systems: a review. *Plant Soil.* 361, 203-226.
- Rengel, Z. 2015. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2015 15 (2), 397-409.

- Roca N ria, M. S. Pazos y J. Bech. 2007. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del NO argentino. *Ciencia del Suelo*, 25(1). (Buenos Aires). Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185020672007000100005&script=sci_arttext [Fecha de consulta: 10 de mayo 2018].
- Roche, R.; Hernández, J. 2008. Estudio comparativo de somaclones de King Grass (*Pennisetum purpureum*) con riego: Pastos y Forrajes. 16:135
- Rodríguez, I. 2000. Influencias de las excreciones de vacas lecheras en el reciclaje de los macronutrientes en el agroecosistema de pastizal. Tesis presentada en opción al grado de doctor en Ciencias Agrícolas. Instituto de ciencia animal. La Habana, Cuba: 31.
- Rodríguez, I. 2001. Influencia de las excreciones de vacas lecheras en el agroecosistema 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., Torres, Verena., Calero, B., Morales, Amalia., Otero, L zara., Hernández, L., Fraga, S. y Santillán, Bertha. 2008. Evaluación integral del complejo suelo-planta-animal en una unidad lechera con silvopastoreo en la provincia La Habana, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42: 403-410.
- Ruiz, T. E. y Febles, G. 2005. Factores que influyen en la producción de biomasa durante el manejo del sistema silvopastoril. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. (CD-ROM).
- Sánchez Saray., Crespo, G y Marta Hernández. 2007. Acumulación de hojarasca en un pastizal de *Panicum máximum* y en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. Pastos y Forrajes, 30:3, 357-371.
- Sánchez, P.; Castilla, C.; Alegre J. 2012. Grazing pressure effects on the pasture Degradation Process. Documento No. 42511 CIAT. pp. 182 – 187
- Sharma, N.K.; Singh, P.N.; Tyagi, P.C. & Mohan, S.C. 1998b. Effect of leucaena mulch on soil-water use and wheat yield. *Agr Water Manage.* 35 (3): 191-200.

- 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.org/livestock/agap/fr/gagrofor1.com>. Consultado 28 de mayo de 2017.
- Spears J.W, 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. J. Nutr. 133(5 Suppl 1):1506S-9S.
- Stanisaw, S. y Magorzata Helena Czarnecka. 2012. Content of available Cu, Zn and Mn in soil amended with municipal sewage sludge. J. Elem. s. 649–657. DOI: 10.5601/jelem.2012.17.4.08
- Suttle, N. F. 2002. Copper deficiency—how has the disease and its diagnosis changed in the last 15 years? Cattle Practice 10: 275-278
- Telfer, S.B., Kendall, N.R., Illingworth, D.V. y Mackenzie, A. M. 2005. Copper deficiency or molybdenum toxicity? Cattle Practice 13: 284-286
- Valenciaga Daiky. Herrera, R.S., Eloisa de Oliveira Simoes, Bertha Chongo y Verena Torres. 2009a. Composición monomérica de la lignina de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 y su variación con la edad de rebrote. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 43, Número 3. 315-319.
- 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
- Vargas, S., Cairo, P., Franco, R., Oramas, E., Muñoz, E., Torres, P., Jiménez, Oralia Rodríguez e Inés Abreu. 2002. Diagnóstico de la fertilidad físico-química del suelo en un agroecosistema lechero. *Pastos y Forrajes*. 25: 2. 99-105.
- 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

- Violante, A., Cozzolino, V., Perelomov, L., Caporale, A.G., y Pigna, M. 2010. Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. *J. Soil. Sci. Plant Nutr.* 10 (3): 268 – 292.
- 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
- 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.
- Yongfeng W, Congqiang L, Chenglong T. 2008. Distribution and sequential extraction of some heavy metals in urban soils of Guiyang City, China. *Chin. J. Geoche.* 27: 401-406.
- Zanoletti, M. E. L. 2016. 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. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Santa Clara. 75p. Cuba.