

**Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
"EZEQUIEL ZAMORA"**



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

**VICERECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
ESTADO PORTUGUESA**

**COORDINACIÓN POSTGRADO
MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELOS**

**EVALUACIÓN DE INDICADORES DE LA CALIDAD DE SUELOS
EN EL SECTOR MARFILAR MUNICIPIO GUANARE,
PORTUGUESA.**

Autor: ALICIA SULBARAN L.

Tutor: JOSÉ A. GUERRERO B.

GUANARE, ABRIL DE 2019.

Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
"EZEQUIEL ZAMORA"



La Universidad que siembra

Vicerrectorado de Producción Agrícola
Coordinación de Área de Postgrado
Postgrado Manejo de los Recursos Agua y Suelos

EVALUACIÓN DE INDICADORES DE LA CALIDAD DE SUELOS EN EL SECTOR MARFILAR MUNICIPIO GUANARE, PORTUGUESA.

Requisito parcial para optar al grado de
Magister Scientiarum

AUTOR: ALICIA J. SULBARAN L.

C.I: 14.995.134.

TUTOR: JOSÉ A. GUERRERO B.

GUANARE, ABRIL DE 2019.

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, José A. Guerrero B., cédula de identidad N° 9.251.966, en mi carácter de Tutor del Trabajo de Grado, titulado: "*Evaluación de indicadores de la calidad de suelos en el sector Marfilar municipio Guanare, Portuguesa*", presentado por la ciudadana: *Alicia J. Sulbaran L.*, para optar al título de: **Magister Scientiarum en Manejo de los Recursos Agua y Suelos**, por medio de la presente certifico que he leído el Trabajo y considero que reúne las condiciones necesarias para ser defendido y evaluado por el jurado exsminador que se designe.

En la ciudad de Guanare, a los 30 días del mes de Enero del año 2019.-



Firma de Aprobación del Tutor



ACTA DE DEFENSA PÚBLICA DE TRABAJO DE GRADO

En la sede del Vicerrectorado de Producción Agrícola de la UNELLEZ-Guanare, a las 08:30 a.m., del día viernes veintidós de marzo de dos mil diecinueve, se reunieron los profesores: José Guerrero, Franco Antonucci y Víctor Peralta, miembros del Jurado Evaluador designado por la Comisión Asesora de Estudios Avanzados Ciencias del Agro y del Mar Vice-Rectorado de Producción Agrícola, según Resolución N° CAEA 240/2018, de fecha 28-11-2018 Acta N° 012/2018 Extraordinaria Punto N° 13, para proceder a emitir el veredicto sobre la defensa pública del Trabajo de Grado titulado: "EVALUACIÓN DE INDICADORES DE LA CALIDAD DE SUELOS EN EL SECTOR MARFILAR MUNICIPIO GUANARE, PORTUGUESA", desarrollado por la Ingeniero Aícia Sulbaran, de nacionalidad venezolana, titular de la cédula de identidad N° V-14.995.134, como requisito parcial para optar al grado académico de **MAGISTER SCIENTIARUM en Manejo de los Recursos Agua y Suelo.**

Cumplido el acto de presentación pública, el cual finalizó a las 9:50 a.m., los miembros del Jurado Evaluador resolvieron **APROBAR** el trabajo en su forma y contenido.


 Prof. Franco Antonucci
 C.I. 11.837.078
 UNELLEZ - Guanare
 Miembro Suplente Interno


 Prof. Víctor Peralta
 C.I. V- 10.059.412
 URV
 Miembro Principal Externo


 Prof. José Guerrero
 C.I. V- 9.251.966
 UNELLEZ - Guanare
 Tutor



AGRADECIMIENTO.

“A Dios Todopoderoso, a mi Familia, a la Unellez-VPA por permitirme ser quien soy y llegar hasta donde he llegado en la vida”.

A ustedes, mil gracias.

ÍNDICE.

	Pág.
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACTS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	
1.1.- Formulación del Problema.....	4
1.2.- Importancia de la Investigación.....	8
1.3.- Objetivos.....	9
1.3.1.- Objetivo General.....	9
1.3.2.- Objetivos Específicos.....	9
CAPÍTULO II. BASES TEORICAS Y CONCEPTUALES.	
2.1.- Antecedentes de la Investigación.....	10
2.2.- Definición de Términos.....	15
2.2.1.- El Suelo.....	15
2.2.2.- Funciones del Suelo.....	16
2.2.3.- Calidad de Suelos.....	17
2.2.4.- Indicadores de la Calidad de Suelos.....	19
2.2.5.- El Cultivo de la Caña de Azúcar.....	23
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	
3.1.- Nivel y Diseño de la Investigación.....	29
3.2.- Área de Estudio.....	30
3.3.- Diseño Estadístico.....	32

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	
4.1.- Características Edáficas del área de estudio.	37
4.2.- Cambios en las Propiedades Químicas de los suelos del área de estudio.	40
4.2.1.- Características Químicas.	40
4.2.2.- Análisis Estadístico.	51
CONCLUSIONES.	56
RECOMENDACIONES.	58
REFERENCIAS CONSULTADAS.	59
ANEXOS.	68

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.

TABLAS.

	Pág.
1. Principales Indicadores de la Calidad de Suelos.	21
2. Propiedades edáficas del cultivo de la caña de azúcar.	24
3. Extracción de nutrientes del suelo por el cultivo de la caña de azúcar.	26
4. Lugares con diferentes tiempos cultivados con caña de azúcar en el Sector Marfilar, municipio Guanare, Portuguesa.	35
5. Características físicas de las Series de Suelos Finca "Santa Ana".	37
6. Características químicas de las Series de Suelos Finca "Santa Ana".	39
7. Propiedades químicas de los suelos del área de estudio.	40
8. Análisis Descriptivo de resumen de las Variables Químicas valoradas.	51
9. Análisis de la Varianza para las propiedades químicas evaluadas.	53
10. Prueba de Comparación de Medias (Tukey α 0.05) de las características químicas analizadas.	54

FIGURAS.

	Pág.
1. Fases y componentes fundamentales del suelo.	16
2. Principales componentes de la calidad de suelos.	19
3. Posibles tendencias de la evaluación de la calidad del suelo.	20
4. Localización del área de estudio.	30
5. Promedios de Temperatura del Municipio Guanare.	31

6. Promedios de Precipitación del Municipio Guanare.	31
7. Promedios de Humedad del Municipio Guanare.	32
8. Mapa de series de suelos de la Finca "Santa Ana".	33
9. Comportamiento del pH para los suelos del Sector Marfilar.	41
10. Conductividad Eléctrica de los suelos del Sector Marfilar.	43
11. Porcentajes de Materia Orgánica de los suelos del Sector Marfilar.	44
12. Capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos del Sector Marfilar.	46
13. Contenido de Nitrógeno de los suelos del Sector Marfilar.	47
14. Valores de Fósforo de los suelos del Sector Marfilar.	48
15. Niveles de Potasio de los suelos del Sector Marfilar.	50

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICERRECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELOS

**EVALUACIÓN DE INDICADORES DE LA CALIDAD DE SUELOS EN EL
SECTOR MARFILAR MUNICIPIO GUANARE, PORTUGUESA.**

AUTOR: Alicia J. Sulbaran L.

TUTOR: José A. Guerrero B.

AÑO: 2019.

RESUMEN

Con el propósito de estudiar los efectos causados por el monocultivo caña de azúcar sobre el recurso suelo, la presente investigación tuvo como finalidad evaluar indicadores de la calidad de suelos en el Sector Marfilar del municipio Guanare estado Portuguesa. En relación a metodología aplicada, se realizó una revisión bibliográfica de los suelos del área de estudio con la finalidad de caracterizarlos; así como, un muestreo de suelos aleatorio simple, a dos profundidades del perfil, en cuatro sitios diferentes, sin repeticiones; a las muestras obtenidas se les midieron en el laboratorio las variables químicas: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, fósforo y potasio, y el parámetro físico textura; el nitrógeno se calculó a partir de la MO. El procesamiento de los datos consistió en la descripción de cada una de estas propiedades con respecto al cultivo de la caña; en un análisis estadístico descriptivo de resumen para observar la variabilidad de los datos, un Análisis de la Varianza ($P < 0.05$) con el propósito determinar si existían diferencias o no en las propiedades químicas de los suelos, y una Prueba de Comparación de Medias (Tukey $\alpha 0,05$) para encontrar diferencias entre las características químicas en relación al bosque natural. Al finalizar este trabajo, se encontró una buena calidad de los suelos, pese a las deficiencias de los elementos nitrógeno, fósforo; y al comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico, la cual, mostró diferencias significativas, recomendándose su uso como un indicador de calidad para los suelos de estudio.

Palabras Claves: Calidad de suelo, caña de azúcar, indicadores.

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES "EZEQUIEL ZAMORA"
VICERRECTORADO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELOS

**EVALUATION OF QUALITY INDICATORS SOIL IN THE MUNICIPALITY
SECTOR MARFILAR GUANARE, PORTUGUESA.**

AUTOR: Alicia J. Sulbaran L.

TUTOR: José A. Guerrero B.

AÑO: 2019.

ABSTRACT

With the purpose of studying the effects caused by the sugarcane monoculture on the soil resource, the present investigation had the purpose of evaluating soil quality indicators in the Marfil Sector of the Guanare municipality, Portuguesa state. In relation to applied methodology, a bibliographic review of the soils of the study area was carried out in order to characterize them; as well as, a simple random soil sampling, at two depths of the profile, in four different sites, without repetitions; the chemical variables were measured in the laboratory: pH, electrical conductivity, organic matter, cation exchange capacity, phosphorus and potassium, and the physical parameter texture; nitrogen was calculated from OM. The processing of the data consisted in the description of each one of these properties with respect to the cultivation of the cane; in a descriptive summary statistical analysis to observe the variability of the data, an Analysis of the Variance ($P < 0.05$) with the purpose of determining if there were differences or not in the chemical properties of the soils, and a Test of Comparison of Stocks (Tukey $\alpha 0.05$) to find differences between the chemical characteristics in relation to the natural forest. At the end of this work, good soil quality was found, despite the deficiencies of the elements nitrogen, phosphorus; and the cation exchange capacity behavior, which showed significant differences, recommending their use as an indicator of quality for the study soils.

Key Word: Quality of soil, sugarcane, indicators.

INTRODUCCIÓN.

La producción agrícola representa una de las actividades más antiguas desarrolladas por el hombre, en la cual dos de los más abundantes y ricos recursos que provee el medio natural como lo son el agua y suelos, han sido la base fundamental para llevar a cabo esta importante tarea. Sin embargo, en la actualidad se tiene que circunstancias tales como el acelerado crecimiento de la población mundial, la ampliación de la frontera agrícola y la tecnificación de la agricultura, han conllevado a un profundo detrimento de los suelos a nivel global.

Esto, se evidencia en zonas que en un pasado fueron fértiles, y en este instante se encuentran improproductivas e incluso, se han convertido en zonas inhóspitas para la vida de diversos ecosistemas. De allí, que la degradación como proceso nocivo para el recurso suelo revista de gran importancia, debido a que ésta puede ser causa de su deterioro físico, químico y biológico, así como de su total destrucción; por tanto, se le considera como uno de los mayores peligros para la humanidad en el futuro (López, 2002).

En concordancia con lo citado en el párrafo anterior, se puede resaltar lo indispensable que significa darle a este valioso recurso un uso apropiado, sustentable; en específico, cuando se destina para la producción de alimentos a gran escala y como fuente de materias primas para la agroindustria. En este contexto, Usón *et al.* (2010) indican que: “la pérdida de suelo asociada a determinadas técnicas de manejo inadecuadas puede ser irreversible, por lo que resulta necesario adoptar sistemas y modelos de producción sostenibles que ayuden a conservar el suelo”.

Como se puede observar, es fundamental para el desarrollo actual y futuro de la agricultura aplicar un conjunto de prácticas agronómicas que minimicen el impacto de esta actividad sobre los suelos, a fin de evitar su rápido deterioro y la pérdida de parte de sus componentes, como por ejemplo, la materia orgánica; la cual, es fundamental para la riqueza en nutrientes, porosidad y biología del suelo (García *et al.* 2009).

En este orden de ideas, este trabajo de investigación tuvo como finalidad evaluar indicadores de la calidad de suelos en el sector Marfilar del municipio Guanare, estado Portuguesa; zona de una importante vocación agrícola, en la explotación de diversos rubros entre los que destaca la caña de azúcar (*Saccharum officinarum L*), con el objeto de estudiar los efectos del monocultivo de la caña de azúcar sobre el recurso suelo; en particular, sobre algunas de sus propiedades químicas.

Todo esto, con el propósito de promover la sustentabilidad y conservación de los suelos del área de estudio; además, de hacer de esta investigación, una referencia para futuros trabajos en este tema en el país, debido a los pocos que existen sobre esta materia; y en específico, acerca de evaluaciones de indicadores de la calidad del suelo en el cultivo de la caña de azúcar.

Para ello, este trabajo se estructuró en cuatro capítulos, como se indica a continuación: el capítulo I, que tiene por título Planteamiento del Problema, en donde se detalló la formulación del problema, la importancia y los objetivos de esta indagación. Seguidamente, se encuentra el capítulo II denominado Bases Teóricas y Conceptuales, en donde se abordaron los aspectos referentes a los antecedentes y los términos que sustentan este trabajo.

A continuación, el capítulo III, que lleva por nombre Metodología de la Investigación, allí se trató lo concerniente al nivel y diseño de investigación, la descripción del área de estudio, así como el diseño estadístico utilizado en este trabajo. Posteriormente, está el capítulo IV titulado Resultados y Discusión, en el que se expusieron los resultados obtenidos, su análisis; y, para finalizar se encuentran las conclusiones, recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1.- Formulación del Problema.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), cultivo originario de Nueva Guinea, fue llevado posteriormente a la India, de donde se extendió a través de los siglos, al resto de los continentes del mundo, incluyendo al americano. Hoy en día, es uno de los rubros de gran importancia económica y agroindustrial para esta región. Debido, no solo a su procesamiento para la producción de azúcar de mesa, sino también para el aprovechamiento y comercialización de sus diversos derivados.

En Venezuela, sus orígenes se remontan al tiempo de la conquista y colonización española a estas tierras, convirtiéndose en uno de los productos más relevantes para su economía, desde la segunda mitad del siglo XVIII hasta las primeras décadas del siglo XX (Amodio y Molina, 2010). Adicionalmente, se puede denotar que con el pasar de los tiempos permitió la consolidación de una gran agroindustria local, con ingenios azucareros en las principales zonas productoras, entre las que destaca el estado Portuguesa y en él, el municipio Guanare.

Por otra parte, en cuanto a la producción de caña de azúcar en este país caribeño, se puede acotar que de acuerdo a cifras de FAOSTAT, (2018) para el año 2016 se produjeron 3.331.252 toneladas de este rubro, con un rendimiento de 63,7804 Ton/ha. De igual manera, con respecto al municipio Guanare, en donde se ubica el área de estudio, los datos oficiales de la Oficina de Planificación y Estadística del UEMPPAT – PORTUGUESA, (2018) muestran que para el año 2015 la producción de caña de azúcar fue de 246.122 toneladas y un rendimiento de 56,025 Ton/ha.

Por otro lado, al hablar del cultivo de la caña de azúcar es importante señalar lo relativo a las labores agronómicas que requiere en sus diferentes etapas. Las cuales, algunas de ellas son benéficas e indispensables para garantizar la rentabilidad del rubro, así como de otras, en las que se ha demostrado afectan a los suelos. Por lo que, se considera que en aquellos suelos luego de muchos años de explotación de este cultivo, muestren problemas en sus propiedades físicas, químicas y biológicas; tal y como se expondrá más adelante.

En este contexto, esta investigación aborda la temática de la calidad de suelos, con el objeto de estudiar a través de la medición de indicadores de la calidad, cómo se ven perturbadas las características edáficas de los suelos; en este particular, las químicas, como consecuencia del monocultivo de la caña de azúcar. Las cuales, son de gran trascendencia motivada a que éstas se encuentran directamente relacionadas con la disponibilidad de los nutrientes y la productividad de los suelos.

De allí, que en zonas cañeras como el Sector Marfilar, en la cual se ha explotado este cultivo por décadas, surge la necesidad de analizar este tipo de indicadores, con el propósito de dar a conocer cómo prácticas rutinarias e inclusive tradicionales del rubro en dicha localidad, tales como la fertilización y la quema de la caña para su cosecha; además de la requema de los residuos, inciden no sólo en el rendimiento sino sobre todo en la vida útil de estos suelos.

Así se tiene, que en referencia a la primera labor antes mencionada, la misma, es una práctica cultural que aporta a este rubro los nutrimentos necesarios para su crecimiento y producción de sacarosa. Así como, permite suplir al suelo lo extraído por el cultivo durante el ciclo; debido, al metabolismo fotosintético C_4 y a la anatomía Kranz del mesófilo de sus hojas,

el cual, le confiere una extraordinaria eficiencia en la conversión de energía solar en biomasa, capaz de extraer y agotar rápidamente los nutrientes del suelo (Rengel *et al.* (2011).

No obstante, cabe destacar que el conocimiento que se pueda tener acerca de cómo han variado los distintos macro y micro elementos en el suelo producto del monocultivo de la caña de azúcar, es de suma importancia en primera instancia, para optimizar los programas y planes de fertilización; y en segundo lugar, para otorgarle un uso sustentable a los suelos. Lo cual, se lograría con la realización de periódicas evaluaciones de indicadores químicos de la calidad de suelos, de la forma que se realizó en este trabajo de investigación.

De igual forma, y en relación a la quema para la cosecha de la caña de azúcar en el área de estudio, se puede indicar que esta es una actividad que también ocurre de forma similar en diversas regiones cañeras, y que acuerdo a Herrera *et al.* (2009): “es práctica muy arraigada entre los productores de caña de azúcar”. Sin embargo, es pertinente señalar algunos de los efectos negativos de errada labor al suelo; los cuales, se pueden ilustrar a través de distintos estudios que se han realizado en la materia.

Uno de ellos, es el de Herrera *Op. Cit.* (2009) quienes resaltaron la pérdida de nutrientes esenciales para el cultivo debida a esta labor:

“La quema de la caña de azúcar antes de la cosecha puede llegar a producir pérdidas de nitrógeno hasta de 24 kg/ha en la quema y 17 kg/ha en la requema, en dependencia de la variedad utilizada, ciclo de cosecha y condiciones de cultivo (p.518)”.

Asimismo, se tiene que otro de los efectos adversos para los suelos ocasionados por la quema del rubro, es lo relativo al contenido de materia orgánica. En este aspecto, Sánchez *et al.* (2003) manifestaron que: “la MO

en suelos cañeros disminuye por efecto de la quema de los rastrojos, por lo que el sistema radicular del cultivo es el principal contribuyente de MO al suelo con $2,5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, mientras que la hojarasca aporta tan solo $1,22 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ”.

Por tanto, lo anteriormente expuesto permite inferir que la quema como parte fundamental de la cosecha, genera problemas no solo desde el punto de vista ambiental, sino que también tiene consecuencias sobre el suelo, y en particular, en algunas de sus propiedades químicas tal y como se hizo mención en párrafos previos.

Por lo cual, se recomienda que en aquellos lugares en donde se ha realizado continuamente estas labores, como en el caso del sector Marfilar del municipio Guanare, evaluar indicadores químicos de calidad de suelo, que permitan estudiar la influencia que tiene esta práctica en los suelos, y así demostrar a los productores de caña de azúcar, la necesidad de adoptar nuevos sistemas de cosecha que vayan en pro de conservar los suelos y el ambiente.

Finalmente, partiendo de los argumentos antes mencionados, se estima que con la realización de este trabajo se pueda dar respuesta a la siguiente interrogante:

1.- ¿Cuáles indicadores químicos de la calidad de suelos evaluados en el sector Marfilar, explican los efectos causados por el monocultivo de la caña de azúcar al recurso suelo?

1.2.- Importancia de la Investigación.

Se estima que la producción de alimentos para satisfacer la creciente demanda de la población mundial, es uno de los grandes retos para los próximos siglos para la humanidad, debido a que en la actualidad, factores como la degradación de tierras y el cambio climático, limitan y condicionan el desarrollo de la agricultura a cualquier escala. De allí, que investigaciones en el área de la conservación de suelos se hacen indispensables ante el panorama antes descrito.

En este marco de ideas, el presente trabajo representa un aporte a ese campo del conocimiento, a la comunidad científica en general y a los productores del cultivo de la caña de azúcar a quienes va dirigido este trabajo. Debido, a que se espera subrayar la importancia que tiene la calidad de suelo para la sustentabilidad de este recurso, y en particular a nivel local, es decir, en la zona de estudio; lo cual permitirá a los cañicultores realizar las labores propias del cultivo, teniendo en consideración las recomendaciones emanadas de este estudio.

De igual forma, esta indagación se suscribe en dos de las líneas de investigación del Postgrado Manejo de los Recursos Agua y Suelos, en el área de las Ciencias del Agro y Mar como lo son: “Estructura y Funcionalidad Física, Química y Biológica de los Recursos Agua y Suelo”; y “Gestión Sustentable de los Recursos Naturales”.

1.3.- Objetivos.

1.3.1.- Objetivo General:

Evaluar indicadores de la calidad de suelos en el sector Marfilar municipio Guanare, Portuguesa.

1.3.2.- Objetivos Específicos:

- ❖ Caracterizar los suelos del Sector Marfilar municipio Guanare.
- ❖ Determinar el cambio de las propiedades químicas de los suelos del área de estudio propiciado por el uso de la tierra con caña de azúcar.

CAPÍTULO II.

BASES TEORICAS Y CONCEPTUALES.

2.1.- Antecedentes de la Investigación.

En el marco de la conservación de suelos, es indispensable señalar que la calidad del suelo, es uno de los tópicos de reciente estudio en el campo de la ciencia del suelo. De allí, que exista una cierta cantidad de información científica disponible que permiten sustentar el presente trabajo de investigación. En este sentido, el conjunto de referencias bibliográficas seleccionadas, de las cuales se hará mención en los siguientes párrafos, muestran a través de las distintas experiencias de campo, la aplicación de los tipos indicadores de calidad suelos, en diferentes sistemas de manejo.

Para comenzar, se encuentra el trabajo realizado por Rossi, (2004) en el cual, evaluó el contenido de materia orgánica de los suelos ubicados al sur de la provincia de Santa Fe en Argentina, como un indicador de la calidad de suelos en esta zona; debido a la variabilidad en la textura de estos. Por lo que, se propuso a valorar dicho contenido como tenor y relacionarlo con la fracción granulométrica más fina del suelo, en diversos ambientes de la localidad antes citada; así como también correlacionar esta información obtenida con el parámetro infiltración.

Los resultados que obtuvo, mostraron que la relación $MO/(limo + arcilla)$, fue el indicador más sensible que la materia orgánica como valor absoluto. De igual forma, encontró una alta correlación con la infiltración; recomendando su uso como indicador de calidad de suelo en esa área. Por otra parte, se puede acotar que el trabajo antes mencionado es de suma relevancia para el presente trabajo de investigación. Dado, a que en el

mismo, uno de los indicadores a ser medidos para observar las condiciones locales de estudio es la materia orgánica.

Seguidamente, se tiene el estudio de Armida *et al.* (2005), quienes plantearon identificar el carbono de la biomasa microbiana, el carbono orgánico soluble, el pH, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la densidad aparente como indicadores de calidad del cambio de uso del suelo, de selva a cultivo de caña de azúcar en Tabasco, México.

Al concluir este estudio, sus autores señalaron que los indicadores carbono de la biomasa microbiana, carbono orgánico soluble y materia orgánica fueron los más sensibles para evaluar la calidad del suelo cultivados con caña de azúcar. De igual forma, encontraron cambios en las propiedades del suelo de los diferentes sitios evaluados, atribuidos al manejo agrícola que durante años se aplicaban al suelo, así como a la falta de prácticas agronómicas que contribuyeran a conservar su fertilidad.

Por otra parte, es oportuno señalar que el trabajo mencionado anteriormente, se considera uno de los estudios pilares de este proyecto, debido a la información que aporta para esta investigación.

Por otro lado, se tiene la experiencia de Torres *et al.* (2006), en Guárico, Venezuela; quienes desarrollaron indicadores de calidad de suelo con el fin de cuantificar los cambios luego de cuatro años de manejo conservacionista en cultivos como sorgo, maíz y crotalaria; a fin de generar índices de calidad que pudieran ser usados para monitorear dichos cambios en la zona a largo plazo.

Las conclusiones de este trabajo, revelaron que los cambios detectados en los suelos objeto de estudio, estaban asociados a parámetros

hidrológicos y pérdidas de suelo y nutrientes. Por tal motivo, seleccionaron indicadores e índices de calidad hidrológica y degradación nutricional que permitieran clasificar la tierra según las prácticas de conservación empleadas.

Asimismo, Ospina *et al.* (2006), evaluaron cambios en la calidad física de un suelo Fluventic Haplustept ubicado en la localidad de Turén, Portuguesa, después de haber sido sometido a diferentes sistemas de manejo durante 11 años. Al finalizar ese estudio, revelaron una mejor calidad en los suelos bajo siembra directa con rotación maíz-algodón, debido a un incremento en la estabilidad estructural y una mayor protección frente al clima.

De los trabajos antes reseñados, se puede observar cómo a través de los distintos sistemas de manejo, las propiedades de los suelos varían con el tiempo y la profundidad del perfil; así como, la medición en campo de diferentes indicadores e índices permiten apreciar estos cambios. Situación, que mediante la realización del presente estudio se pretende visualizar en el Sector Marfilar.

Por otro lado, se tiene investigaciones como la de Cantú *et al.* (2007), en la localidad de Córdoba, Argentina, en el cual, desarrollaron y aplicaron un set mínimo de indicadores del estado del recurso suelo para evaluar su calidad en agro ecosistemas con Molisoles de bajo a moderado desarrollo. Los resultados que alcanzaron, fueron la selección de indicadores de un número mínimo de variables con alto grado de agregación, fáciles de medir y repetibles, representando las condiciones locales.

Finalmente, destacaron que dichos indicadores no son universales ya que fueron elegidos en función del tipo de ambiente y suelo de la región en

estudio. De forma similar, también se destaca la investigación llevada a cabo por Campitelli *et al.* (2010), en el que plantearon determinar los indicadores que mejor representaran la calidad de un suelo del área central de la provincia de Córdoba, Argentina.

Los resultados arrojaron que en las condiciones estudiadas, los indicadores más sensibles y sencillos de medir para evaluar calidad de suelos, estaba relacionada a la fertilidad de estos y a la susceptibilidad a la erosión. En este particular, se puede denotar que ambas investigaciones son de importancia para el presente trabajo. Debido, a que en las dos muestran aspectos a considerarse cuando se miden indicadores de calidad de suelos, como lo son sensibilidad y la no universalidad de los mismos.

Por último, se tiene el trabajo realizado Quiroz *et al.* (2013) quienes a través de una nota de investigación analizaron los efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo cultivado con caña de azúcar, luego de la aplicación de cachaza y vinaza. Además, establecieron las ventajas y desventajas del uso de dos subproductos de la caña de azúcar.

En cuanto a los resultados obtenidos, se puede mencionar los efectos positivos de la aplicación de cachaza en la calidad del suelo, entre los que destacaron en la estructura, infiltración y retención de agua. De igual manera, en relación a la vinaza, reseñaron que una vez aplicada ésta aporta una gran cantidad de potasio y materia orgánica; así como estimula el crecimiento profundo del sistema radical y favorece la infiltración de agua.

Sin embargo, en cuanto a las desventajas, señalaron que la cachaza muestra mejores resultados si se usa junto a otros fertilizantes; mientras, que

para la vinaza reportaron que su utilización en exceso puede aumentar la salinización de los suelos.

Por otra parte, en referencia a algunas características físicas y químicas de los suelos, tales como la densidad aparente, materia orgánica y fósforo, estos investigadores señalaron que la aportación de vermicomposta derivada de cachaza y estiércol de bovino disminuyó la densidad aparente del suelo, fomentó la formación de agregados estables en agua y promovió una estructura granulada y menos compacta del suelo.

Asimismo, indicaron que luego de un año de aplicar cachaza composteada aumenta el contenido de materia orgánica y de fósforo; los cuales estimulan el aumento de las reservas de materia orgánica del suelo, el carbono orgánico, el nitrógeno total y la cantidad de fósforo. Por último, se tiene que para la vinaza, reseñaron que los cambios sobre algunas propiedades físicas del suelo se observen a largo plazo.

Finalmente, en relación a este trabajo, en el cual hace mención al cultivo de la caña de azúcar, y al aprovechamiento de dos de sus subproductos como lo son la cachaza y la vinaza. Es de hacer notar, que esta experiencia representa un importante aporte al presente estudio. En el cual, de acuerdo a los resultados obtenidos, se propondría recomendar el uso de los subproductos antes mencionados, que se generan en los ingenios azucares ubicados del Sector Marfilar, con el fin de mejorar las condiciones edáficas de estos suelos.

2.2.- Definición de Términos.

2.2.1.- El Suelo.

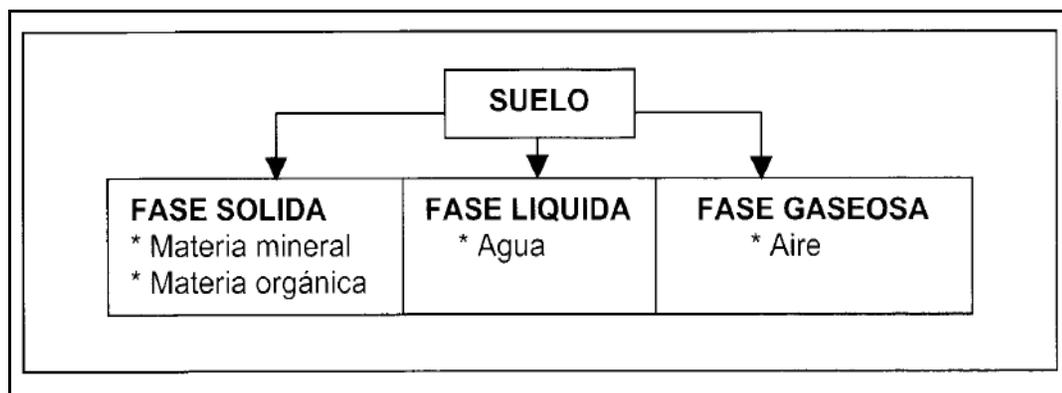
Para comenzar esta segunda parte del capítulo II de este estudio, se abordará en primer lugar la definición de suelo. Un término que ha sido durante mucho tiempo descrito en función al enfoque que se le dé, y que deriva del griego *solum*, que significa base o piso.

Entre estos enfoques se encuentra el de los suelos como un elemento multifuncional de un ecosistema (Porta *et. al.* 2008). En este contexto, para los autores antes mencionados, los suelos son cuerpos naturales, dinámicos, vivos que desempeñan múltiples servicios, por lo que son un componente crítico de la biosfera.

Asimismo, se puede subrayar que esta definición hace referencia a las principales funciones de los suelos, entre las que cabe destacar: producción de biomasa, productividad biológica sostenible, filtro ambiental, calidad ambiental, biorreactor, secuestro de carbono, reserva de biodiversidad, entre otros (Porta *Op. Cit.* 2008).

Por otra parte, se tiene que en las líneas que siguen a continuación, se señalan las definiciones vinculadas al ámbito de la agricultura; debido a que es área en la cual se desarrolla esta investigación.

Ahora bien, en relación a la primera definición, ésta corresponde a la Navarro *et al.* (2012); quienes desde el punto de vista químico y agrícola, denotan que puede considerarse el suelo, como un sistema disperso constituido por tres fases (figura 1), el cual otorga el soporte mecánico, y en parte el sustento de las plantas.



Fuente: Navarro *Op. Cit.* (2012).

Fig. 1. Fases y componentes fundamentales del suelo.

De igual manera, se tiene la segunda definición tomada de Thompson *et al.* (2002); basada en la perspectiva de un edafólogo para definir el suelo. Para estos autores, un edafólogo considera al suelo como medio de cultivo; y por ende, describirá al suelo es una mezcla de materiales minerales y orgánicos capaz de soportar la vida vegetal.

Seguidamente, se tiene la de Casanova, (2005) el cual señala que: “desde el punto de vista agronómico, el suelo es el sitio donde viven y crecen plantas y animales, los cuales son altamente importantes en el mantenimiento de la vida humana”.

Como se puede observar, lo anteriormente mencionado permite subrayar que el suelo desde óptica de la producción agrícola, es aquella capa delgada de la corteza terrestre, en la cual, las plantas pueden crecer y desarrollarse gracias al sostén que les da; así como, obtener el agua y los elementos minerales necesarios para sus procesos fisiológicos.

2.2.2.- Funciones del Suelo.

Un segundo aspecto importante al hablar de los suelos, es acerca de las funciones que este cumple. Por lo que, a continuación se nombran las

principales funciones específicas del suelo descritas por el Natural Resources Conservation Service, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA-NRCS, (2002):

“Sostener la actividad biológica, la diversidad y la productividad; regulación y división del flujo de agua y de soluto; filtración, amortiguación, degradación, inmovilización y desintoxicación de materiales orgánicos e inorgánicos, incluidos subproductos industriales y municipales y deposición atmosférica; almacenamiento y reciclaje de nutrientes y otros elementos dentro de la biosfera terrestre; y prestar apoyo a las estructuras socioeconómicas (edificios, carreteras) y proteger los tesoros arqueológicos asociados con la vivienda humana”.

Por otra parte, se puede denotar que en relación a este proyecto de investigación, de suma importancia conocer las funciones del suelo; debido a que la evaluación de la calidad de suelos en el área de estudio involucra analizar en qué medida se ha perturbado su funcionalidad, asociada a los sistemas de manejo a los cuales haya sido sometido los suelos de esta zona; específicamente, al de la caña de azúcar.

2.2.3.- Calidad de Suelo.

El siguiente concepto que se tratará en esta sección, es el de calidad de suelo. Un término de particular importancia en este trabajo de investigación, dado a que el objetivo central del mismo, es precisamente la valoración en el Sector Marfilar de indicadores que permitan estimar la calidad de los suelos de esta zona.

Por otra parte, antes de hacer referencia a esta definición es relevante mencionar la Cumbre Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo celebrada en Río, Brasil en el año 1992. Debido, a que uno de sus principales logros fue la llamada Agenda 21; un programa que en su capítulo 40 estableció la elaboración, promoción y uso mundial de los indicadores del desarrollo sostenible (ONU, 2002).

De igual manera, se puede acotar que la aplicación de esta agenda, condujo en el tiempo a desarrollar metodologías que determinaron el uso generalizado de indicadores e índices para la evaluación de la calidad ambiental, de los suelos, sustentabilidad, entre otros; surgiendo a partir de allí iniciativas de programas con listas de indicadores para evaluar la calidad ambiental hasta que la Soil Science Society of America estableciera el concepto de calidad de suelo (Cantú *Op. Cit.* 2007).

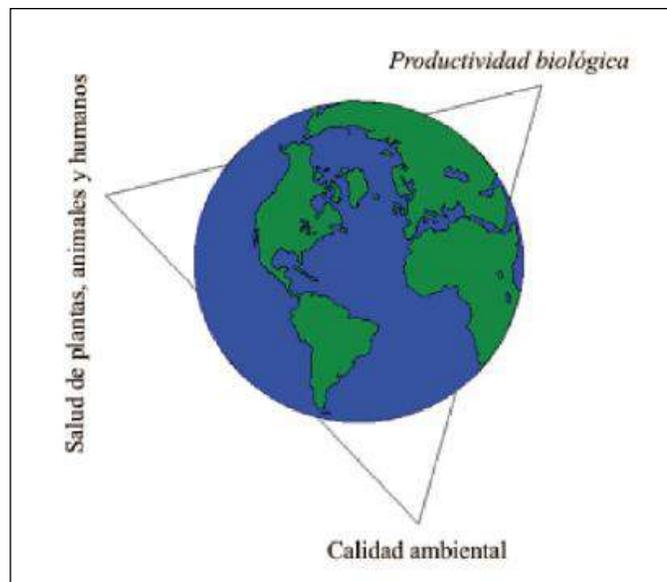
Esta definición es la de Karlen *et al.* (1997) citados por Jiménez *et al.* (2006); la cual, expresa a la calidad de suelo como: “capacidad de un suelo específico para funcionar, dentro de los límites de los ecosistemas naturales o manejados, para sostener productividad de plantas y animales y mantener o mejorar la calidad del agua y aire, y apoyar la salud humana y hábitat”.

De igual forma, es relevante expresar que los suelos varían naturalmente en su capacidad de funcionar; por lo tanto, una parte importante de la definición anteriormente citada, es el concepto de que la calidad es específica para cada tipo de suelo; así como, la calidad de un suelo tiene dos partes distintas pero relacionadas: cualidades inherentes y dinámicas (USDA-NRCS, *Op. Cit.* 2002).

Por otro lado, con respecto a esa misma definición es necesario destacar que la misma involucra tres principios importantes descritos por Doran y Parkin (1994) citados por Astier *et al.* (2002); los cuales se ilustran en la figura 2. Asimismo, se tiene que el primer principio se refiere a la habilidad del mismo para promover la productividad del ecosistema o agroecosistema, sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Mientras que el segundo, habla de la capacidad de un suelo para atenuar los contaminantes ambientales, los patógenos, y cualquier posible

daño hacia el exterior del sistema, incluyendo también los servicios ecosistémicos que ofrece; y el último, a la capacidad de un suelo para producir alimentos sanos y nutritivos para los seres humanos y otros organismos.



Fuente: Doran y Parkin (1994) citados por Astier *et al.* (2002).

Fig. 2. Principales componentes de la calidad de suelos.

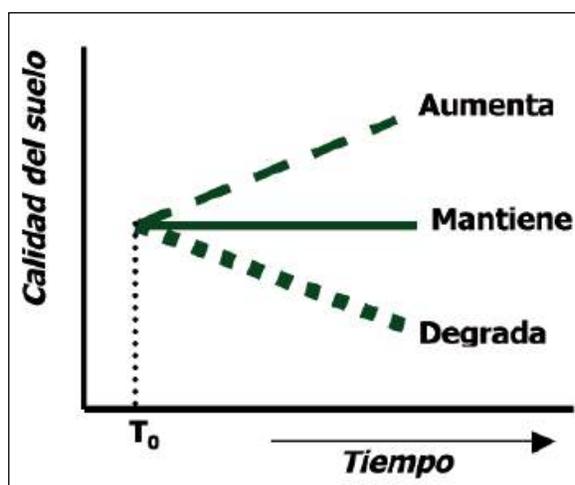
2.2.4.- Indicadores de la Calidad de Suelos.

Desde el comienzo de este trabajo, se ha mencionado en reiteradas ocasiones que su objetivo fundamental, es la evaluación de indicadores de la calidad de suelo en el Sector Marfilar. De allí, que luego de haber revisado el concepto de calidad de suelo, corresponda entonces hablar de los parámetros que se utilizan para medir dicha calidad de suelo.

Para empezar, se tiene que diversos autores han señalado al término indicador, como las características físicas, químicas y biológicas de los suelos; las cuales, se emplean en las evaluaciones de calidad de suelo, con

el propósito de conocer la dinámica que muestran las propiedades de los mismos.

No obstante, un aspecto a resaltar en cuanto a las evaluaciones de la calidad de suelos, es que las mismas deben considerar las propiedades y los procesos biológicos, químicos y físicos; con el objeto de que la interpretación y las mediciones, deben evaluarse con respecto a tendencias a largo plazo o a señales de sostenibilidad, las cuales se traducirán en una degradación, mantenimiento o aumento de su calidad (figura 3).



Fuente: Jiménez *Op. Cit.* (2006).

Fig. 3. Posibles tendencias de la evaluación de la calidad del suelo.

Lo anteriormente citado, es gran relevancia debido a que mediante el estudio de la calidad de suelo en un sistema de manejo determinado, se podrá estimar en función de los resultados obtenidos, si se requiere o no de la adopción de medidas que permitan ayudar al suelo a mejorar y/o mantener su calidad, evitando en lo posible su degradación.

Por otra parte, tal y como se hizo mención en párrafos anteriores, los indicadores son las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos usados para evaluar su calidad. Sin embargo, para que estas propiedades

sean consideradas indicadores de calidad, deben cumplir con las siguientes condiciones señaladas por Doran y Parkin, (1994) citados por Bautista *et al.* (2004):

“describir los procesos del ecosistema; integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir; ser sensitivas a variaciones de clima y manejo; ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo; ser reproducibles; ser fáciles de entender; ser sensitivas a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica; y, cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente (p.5)”.

Como se puede observar, un indicador debe reunir un conjunto de requisitos para que a través de él, se puedan visualizar los cambios que los suelos presentan. Por otra parte, en la tabla 1 se muestran cada uno de los tipos de indicadores de la calidad de suelos descritos por Navarrete *et al.* (2011).

Tabla 1. Principales indicadores de la calidad de suelos.

Indicadores	Relación con la condición y función del suelo
Físicos	
Textura de los suelos	Retención y transporte de agua y minerales; erosión del suelo a partir de su influencia en el tipo de estructura, la cantidad y tamaño de poros.
Profundidad del suelo	Estimación del potencial productivo y de erosión, profundidad fisiológica.
Infiltración y Densidad aparente	Potencial de lixiviación, productividad y erosión.
Capacidad de agua disponible	Agua disponible para las plantas.
Porosidad y compactación	Retención y transporte de agua y nutrientes; erosión del suelo.
Estabilidad de agregados	Erosión potencial, infiltración de agua.
Químicos	
Materia orgánica (C y N)	Disponibilidad de nutrientes, fertilidad del suelo, estabilidad de agregados, a mayor cantidad: disminución de la erosión y aumento del potencial productivo.

pH	Actividad química y biológica, límites para el crecimiento de las plantas y actividad microbiana.
Conductividad eléctrica	Actividad microbiológica y de las plantas. Limitante para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiológica.
N, P y K extraíble	Disponibilidad de nutrimentos para las plantas y pérdida potencial de N, indicadores de productividad y calidad ambiental.
Capacidad de intercambio catiónico	Almacén de nutrimentos para las plantas, retención de contaminantes y amortiguación de pH.
Biológicos	
Biomasa microbiana (C y N)	Actividad biológica, flujo de nutrimentos, potencial catalizador microbiano y reposición de C y N.
N potencial mineralizable	Productividad del suelo y aporte potencial de N
Respiración del suelo	Medición de la actividad microbiana, cantidad de C en el suelo.
Riqueza y abundancia de fauna	Relacionado con los procesos de descomposición y mineralización de residuos orgánicos y alerta temprana ante perturbaciones.
De relieve	
Pendiente	Condiciones permisivas para la presencia de la erosión.
Orientación del terreno	Diferencias en parámetros estructurales (biomasa, distribución de frecuencias), y comportamiento hídrico del suelo.
Altitud	Patrones de distribución de especies vegetales.
Unidad geomorfológica (posición en el relieve)	Forma del flujo del agua a lo largo de la ladera (zonas donadoras-zonas receptoras).

Fuente: Navarrete *Op. Cit.* (2011).

De la tabla anterior, es importante hacer mención a los indicadores químicos, debido a que se estarán evaluando en esta investigación, algunos de estos parámetros. De igual manera, en relación a estos Bautista *Op. Cit.* (2004) reseñan que los mismos: “se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos”.

2.2.5.- El Cultivo de la Caña de Azúcar.

Como un último aspecto que se revisará en este capítulo II, es el referente al rubro de la caña de azúcar. El cual, es de suma importancia en este trabajo, debido a que la evaluación de indicadores de calidad se realizará en los suelos cultivados con este cultivo. Por lo tanto, se estará abordando los siguientes tópicos: requerimientos edafoclimáticos de la caña de azúcar; patrón de extracción del cultivo, y por último, lo concerniente a algunas prácticas agronómicas.

❖ Requerimientos Climáticos y Edáficos.

Como se mencionó al comenzar esta sección, un primer elemento que se estará abordando, es el relativo a las condiciones del clima y suelos para el cultivo de la caña de azúcar. Un tema de vital relevancia para esta investigación; dado a que los indicadores de calidad de suelo que se estarán valorando en el Sector Marfilar, corresponden a algunos de los requerimientos edáficos de este rubro agrícola; con el objeto de analizar su status en el área de estudio, entre otras consideraciones.

En este orden de ideas, Aguilar, (2013) señala que la caña de azúcar se adapta a un rango amplio de condiciones climáticas, siendo las tropicales las que mejor lo favorecen. De igual forma, destaca que esta planta amerita de temperaturas entre 18 y 35 °C, de 1100 a 1500 mm de precipitación bien distribuidos durante todo el ciclo; así como de 1200 a 1800 horas luz/año para su buen desarrollo y producción.

Por otra parte, en relación a los suelos para el rubro de la caña de azúcar Mago, (1986) reseña que es un cultivo poco exigente en cuanto a suelo, que puede adaptarse a suelos arcillosos como a arenosos. Adicionalmente, indica que las exigencias en relación al suelo se limitan a

aspectos tales como la profundidad, aireación suficiente, pH desde 4 hasta 10 y salinidad y/o alcalinidad no muy elevada.

Asimismo, CONADESUCA, (2015) en referencia al tipo de suelo para la caña de azúcar, subraya que este cultivo puede establecerse con un manejo agronómico adecuado en diversos tipos: desde arenosos hasta a los franco-arcillosos y arcillosos; con pH entre 5.5 y 7.8 para su óptimo desarrollo. De igual manera, señalan que los suelos deben tener buen drenaje, sin problemas de salinidad, con una densidad aparente de 1.1 a 1.2 g/cm³, una capa freática bajo los 1.5 a 2 m desde la superficie; así como que los suelos sean fértiles, y no muestren problemas de deficiencia o desbalances minerales.

Por último, se puede recalcar que lo citado anteriormente, muestra cómo el cultivo de la caña se adapta a un rango de condiciones de suelos para su establecimiento; las cuales en la tabla 2 se reflejan de una manera más amplia. Así como, es relevante acotar que para el cultivo de la caña de azúcar exprese todo su potencial genético, es necesario los conocer los requerimientos señalados.

Tabla 2. Propiedades edáficas del cultivo de la caña de azúcar.

Propiedades del Suelo	Nivel de aptitud para el cultivo de la caña de azúcar			
	Alto	Medio	Bajo	No apto
	Físicas			
Textura	Franco arcilloso	Arcilloso	Franco arenoso	Arenoso
Densidad Aparente (g/cm ³)	1.1	1.2	1.3	> 1.4
Profundidad (cm)	> 100	80 - 100	50 - 80	< 50
Drenaje Externo	Bueno Moderado	Imperfecto-moderado	Pobre	Pobre-inundable

Drenaje Interno	Bien drenado	Moderadamente bien drenado	Imperfectamente drenado	Muy pobremente drenado
Pendiente (%)	0 - 8	8 - 16	16 - 30	> 30
Químicas				
pH	6.6 - 7.3	6.1 - 6.5	5.6 - 6.0	< 5.5
Materia Orgánica (%)	> 5	3 - 5	2 - 3	1 - 2
CIC (meq/100g)	> 20	15 - 20	15 - 10	< 10
Salinidad (dS/m)	< 8	8 - 12	12 - 16	> 16
N (%)	> 0.4	0.1 - 0.4	0.032 - 0.1	< 0.032
Nitrógeno disponible (Kg/ha)	> 300	300 - 225	225 - 150	< 150
P (ppm)	> 40	39 - 18	17 - 9	< 9
K (ppm)	> 468	468 - 82	78 - 42.9	< 39
Ca (ppm)	>2004	1002 - 2004	400 - 1002	< 400
Mg (ppm)	> 365	158 - 365	60 - 158	< 60

Fuente: Aguilar *Op. Cit.*, (2013); CONADESUCA *Op. Cit.*, (2015).

❖ Patrón de Extracción del cultivo caña de azúcar.

Luego de revisar los aspectos como las condiciones de clima y suelos para el establecimiento de este cultivo, corresponde hablar lo relativo al patrón de extracción de nutrientes. El cual, es una de las características más importantes de este rubro; debido a su elevada remoción de nutrientes del suelo para producir tallos, hojas, raíces, cepas. Es por ello, que requiere la aplicación de cantidades considerables de fertilizantes, con la finalidad de compensar los déficits de macro y micronutrientes sustraídos.

En este aspecto, Velasco, (2014) denota que la producción de biomasa significa entre 20 y 35 t ha⁻¹ de materia seca, y en peso fresco alcanzan un valor cercano o superior a 100 t ha⁻¹. De allí, se estima que debido a la prolongada duración del ciclo, la caña de azúcar extrae nutrientes

del suelo entre 800 a 1500 kg ha⁻¹ por año, sobresaliendo el potasio y silicio, seguidos de nitrógeno, fósforo y otros nutrimentos (tabla 3).

Tabla 3. Extracción de nutrientes del suelo por el cultivo de la caña de azúcar.

Nutrientes	Cantidad extraída (Kg ha⁻¹ por año)
Potasio	300 - 350
Silicio	200 - 300
Nitrógeno	130 - 200
Fósforo	80 - 100
Calcio	55 - 60
Magnesio	35 - 45
Azufre	20 - 30

Fuente: Velasco *Op. Cit.* (2014).

De igual forma, este autor señala que: “actualmente existe preocupación por el intenso uso de insumos químicos en la producción de caña de azúcar, ya que ello encarece los costos de producción, contamina el ambiente y los mantos acuíferos”. De allí, que sugiere el uso de la biotecnología, en particular, los biofertilizantes para contribuir con el desarrollo sostenible del este cultivo.

❖ **Manejo agronómico de la Caña de Azúcar.**

Finalmente para cerrar esta sección, se discute de acerca de las prácticas agronómicas del cultivo de la caña de azúcar, en las que se encuentra involucrado el suelo. Dado, a que las mismas infieren en su dinámica, así como modifican las condiciones naturales de los suelos para adaptarlas a las que el rubro necesita para su producción.

La primera labor a la que se estará haciendo referencia, es la fertilización. La cual, representa una de las prácticas de gran importancia

para el cultivo y para este proyecto de investigación, motivado a que la evaluación de indicadores químicos de la calidad de suelos, tiene como propósito estudiar la dinámica de algunos de los nutrientes del suelo necesarios para el cultivo de la caña de azúcar.

En este particular, Pérez (2017) señala que la fertilización debe planificarse desde el inicio de cada ciclo del cultivo, partiendo de un buen análisis de suelos por lote, con el propósito de integrar estos resultados con los factores de suelo, clima y manejo a fin de garantizar la sostenibilidad en el uso de los nutrientes.

Del mismo modo, se puede acotar para el cultivo de la caña de azúcar se habla de tres tipos de fertilización mineral: nitrogenada, fosfórica y potásica. La primera se refiere a la aplicación de fuentes nitrógeno (urea); la segunda, a la de fósforo (P_2O_5) y la última, a fuentes de potasio (K_2O). De la misma manera, se puede señalar que una cosecha de 100 toneladas de caña por hectárea extrae 100 Kg de N, 45 Kg de P_2O_5 , 170 Kg de K_2O , 120 kg de CaO, 45 kg de MgO y 30 Kg de S (Solórzano, 2001).

Valores, que de acuerdo a este autor, constituyen una buena orientación para las aplicaciones de nutrientes por medio de la fertilización. De igual modo, es oportuno indicar que el momento de aplicación de cada uno estos nutrientes, está estrechamente relacionado con las etapas del cultivo, siendo en la siembra donde se realiza el mayor aporte de nutrimentos, seguido del reabono; en donde, por lo general, se aplica el resto.

Por otra parte, a continuación se hará referencia a una de las prácticas agronómicas importante para cualquier cultivo como lo es la cosecha. En

relación a esta labor, para la caña de azúcar se puede indicar que existen varias modalidades: manual, semi-mecanizada y mecanizada.

En la semi-mecanizada emplea maquinaria agrícola y vehículos de carga pesada para la recolección y transporte del cultivo en campo; mientras que la mecanizada se lleva a cabo mediante cosechadoras tipo combinada. En esta modalidad, cabe destacar el uso de otros equipos y camiones para completar el proceso de la cosecha (Bolaños *et al.* 2006).

De igual forma, se puede señalar que estos sistemas inciden sobre el suelo, generando consecuencias negativas para estos tales como la compactación. En este particular, Rodríguez *et al.* (2010) explican que una de las mediciones para evaluar la compactación inducida en la masa de suelo, es la resistencia a la penetración, la cual depende de las propiedades del suelo como densidad, contenido de humedad, potencial del agua en el suelo, texturas, entre otros. De igual manera, subrayan que valores mayores a 2 MPa son considerados limitantes para el desarrollo de raíces.

Por último, es oportuno indicar que en el área de estudio por lo general se emplean ambas modalidades, siendo la semi-mecanizada la que mayormente se observa en la zona, motivado a diversos factores. No obstante, la cosecha en verde se ha venido implementando en la zona paulatinamente, a fin de reducir el sistema tradicional de zafra de quema y corte manual de la caña.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

3.1.- Nivel y Diseño de la Investigación.

Para iniciar este capítulo, en primer lugar se hará referencia a señalar el nivel y tipo de investigación que corresponden al presente estudio. En este particular, se tiene que el nivel de investigación es aquel que indica el grado de profundidad con que se aborda un objetivo o fenómeno (Arias, 2006).

Por otra parte, es importante comentar que existen varios tipos de investigación; entre las que se encuentra la investigación descriptiva, que según Tamayo, (2004) es aquella que comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos.

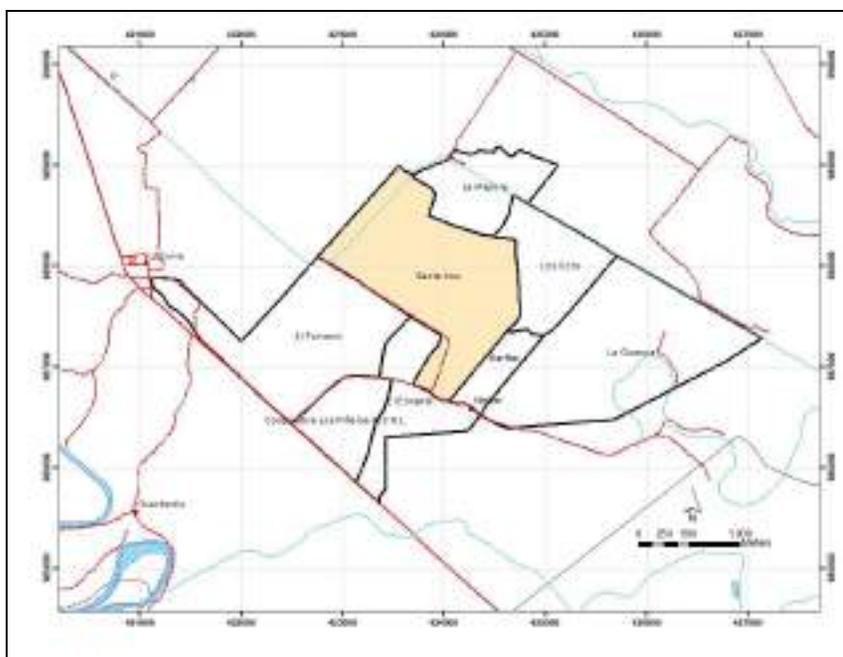
De allí, que de acuerdo a los objetivos que se plantean en este trabajo, se puede subrayar que el tipo de investigación del mismo es de carácter descriptivo; debido a que mediante la realización de este estudio se busca explicar la realidad que acontece en el Sector Marfilar del Municipio Guanare del estado Portuguesa. De igual manera, en cuanto al diseño de la investigación, este hace énfasis a la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado (Arias *Op. Cit*, 2006).

Ahora bien, entre los tipos de diseños existentes, el que se ajusta para abordar la problemática formulada en el presente estudio, es la investigación de campo; la cual, consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde se dan los hechos sin manipular o controlar variables (Stracuzzi *et al.* 2012).

3.2.- Área de Estudio.

3.2.1.- Ubicación y Características Climáticas.

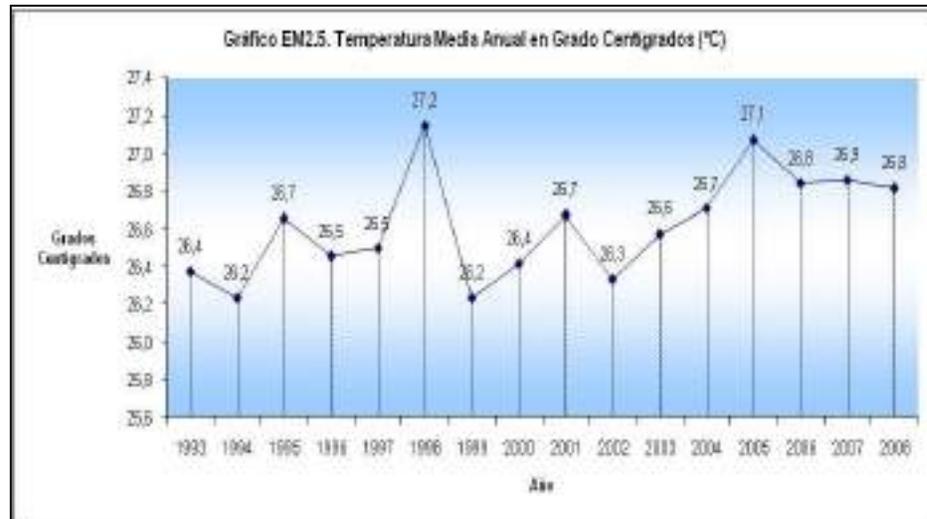
En cuanto al área de estudio, se tiene que este trabajo se realizó en la Finca “Santa Ana” ubicada en el Sector Marfilar del municipio Guanare, estado Portuguesa (figura 4); la cual, cuenta con una extensión de 220 Ha, mientras que el Sector consta de una superficie de 957,42 Ha (Centro Cartográfico Unellez, 2018).



Fuente: Centro Cartográfico Unellez, (2018).

Fig. 4. Localización del área de estudio.

Ahora bien, en relación al clima, se tiene que de acuerdo a los datos del Instituto Nacional de Estadística, (2011) para el período 1993–2008, el promedio de las principales variables climáticas fue el siguiente: temperatura 26.6 °C; precipitación 1435.30 mm; humedad media 74.3%. Asimismo, en las figuras 5, 6 y 7 se observan el comportamiento general de estas variables para el período antes mencionado.



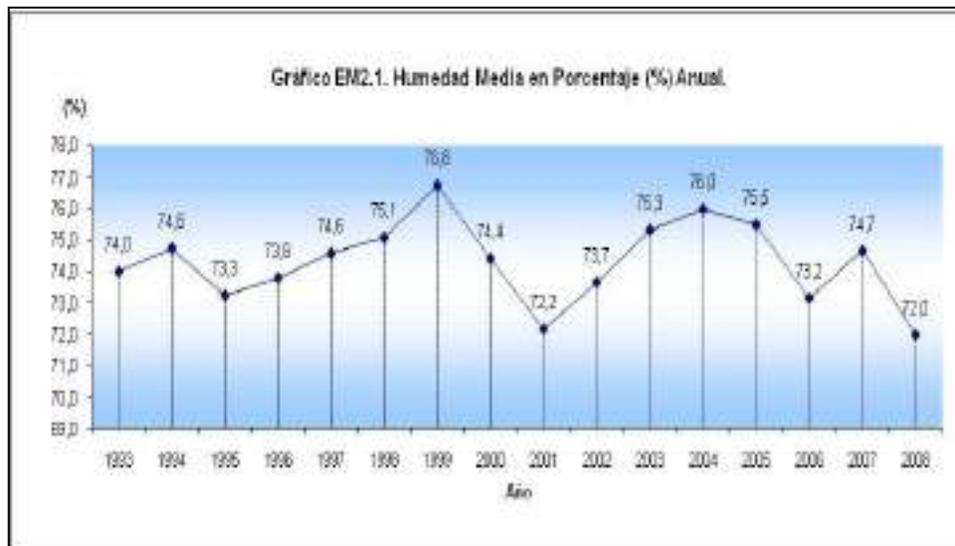
Fuente: INE, (2011).

Fig. 5. Promedios de Temperatura del Municipio Guanare.



Fuente: INE, (2011).

Fig. 6. Promedios de Precipitación del Municipio Guanare.



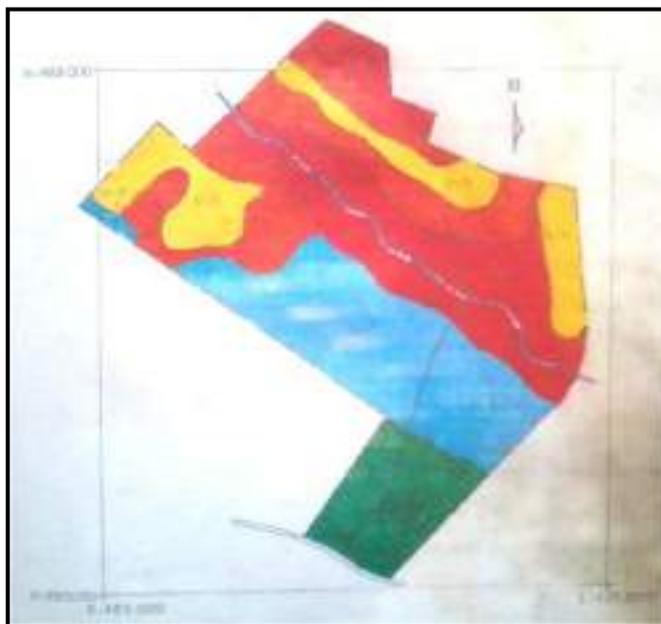
Fuente: INE, (2011).

Fig. 7. Promedios de Humedad del Municipio Guanare.

3.3.- Diseño Estadístico.

En cuanto a la metodología aplicada en este trabajo y con la finalidad de dar respuesta al primer objetivo de esta investigación, se realizó una revisión bibliográfica de los suelos del área de estudio, con el propósito de caracterizarlos de forma inicial.

Para ello, se utilizó el “Estudio de suelos semidetallado finca “Santa Ana” Edo. Portuguesa” realizado por Chacón, (1990), en el cual se describen las series de suelos que se observan en esta unidad de producción (figura 8); series que de acuerdo al MOP, (1968) también se visualizan en el Sector Marfilar y sus adyacencias. Por lo que, esta revisión permitió inferir un comportamiento homogéneo y representativo de los suelos objeto de estudio.



U-1: Serie Marfilar Franco Arcillosa; U-2: Serie Guanare Franco; U-3: Serie Morita Arcillosa; U-4: Serie Cenegal; U-5: Serie Quinteroña Franco Arcillo arenosa.
Fuente: Chacón *Op. Cit.* (1990).

Fig. 8. Mapa de series de suelos de la Finca "Santa Ana".

Por otra parte, y para dar respuesta al segundo objetivo planteado, se procedió a realizar un muestreo en campo, con el fin de obtener información acerca de los cambios en las variables químicas evaluadas con respecto al cultivo de la caña de azúcar en la zona.

En este sentido, se determinó en primer lugar el tamaño de la muestra, a partir de la superficie del Sector Marfilar, que representa en términos estadístico la población de estudio. Por lo que, se utilizó la ecuación para calcular el tamaño proporcional de la muestra con población finita según Bolaños (2012):

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 \cdot N \cdot p \cdot q}{i^2(N-1) + Z_{\alpha}^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

n: tamaño muestral.

N: tamaño de la población (957.42 Ha).

Z: valor correspondiente a la distribución de gauss, $Z_{\alpha} = 0.05$ para un 95% de confianza.

p: proporción de elementos que presentan una determinada característica a ser investigada. En este caso se estimó en 70%.

q: proporción de elementos que no presentan la característica que se investiga; en este caso $q = 30\%$.

i: error que se prevé cometer si es del 10 %, en este caso $i = 0.1$.

Al aplicarse la ecuación antes mencionada, se obtuvo la muestra (n) de esta investigación es de 8,00 Ha. De igual manera, es importante señalar que la finca del sector seleccionada para el muestreo consta de 220 Ha, como ya se había mencionado anteriormente; la cual, representa el 22,97% del área total del Sector Marfilar. Por lo que, se puede acotar que ésta posee una superficie representativa de la zona de estudio.

Ahora bien, una vez calculado el tamaño de la muestra, se definió el tipo de muestreo de suelos; el cual, consistió en un muestreo aleatorio simple, que de acuerdo a Lozano, (2006) se basa en la teoría de las probabilidades y siempre requiere de un análisis estadístico. De la misma forma, denota que cada punto de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado; así como, es un tipo de muestreo recomendable para áreas homogéneas menores a 5 hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la zona.

Por otra parte, para el muestreo aleatorio simple se consideraron dos profundidades del perfil de suelo (0 a 20 cm y 20 a 40 cm), y se tomaron las muestras en cuatro sitios distintos o sistemas de manejo de la finca (tabla 4), sin repeticiones.

Tabla 4. Lugares con diferentes tiempos cultivados con caña de azúcar en el Sector Marfilar, municipio Guanare, Portuguesa.

Sitios	Tiempo (años)
Bosque Natural (I)	0
Suelo cultivado con Caña de Azúcar (II)	2
Suelo cultivado con Caña de Azúcar (III)	10
Suelo cultivado con Caña de Azúcar (IV)	20

Fuente: Sulbaran, (2018).

En cuanto a las variables químicas medidas están: Reacción del Suelo ó pH, Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico, Nitrógeno, Fósforo y Potasio. El Nitrógeno se determinó a través del contenido de materia orgánica. De igual forma, se midió el parámetro físico textura. En cuanto a las herramientas usadas para la recolección de las muestras de suelo en campo, se utilizó un barreno.

En relación al procesamiento de las muestras, este se realizó en los Laboratorios de Análisis de Suelos y de Edafología de la Unellez Guanare; en donde se aplicaron los siguientes métodos: textura Bouyoucos; pH (relación 1:2) Potenciómetro; conductividad eléctrica Conductimétrico; materia orgánica Walkley-Black; capacidad de intercambio catiónico: Suma total de bases; fósforo: Olsen y Potasio: Bray.

Por último, se tiene que con los datos obtenidos se realizó una descripción de las características químicas edáficas evaluadas, con la finalidad de determinar cambios en estas propiedades de suelos a causa del cultivo de la caña de azúcar.

Así mismo, se les aplicó un Análisis Estadístico Descriptivo de Resumen para observar la variabilidad de los datos; un Análisis de la

Varianza ($P < 0.05$) con el propósito determinar si existían diferencias o no entre las propiedades químicas medidas; y una Prueba de Comparación de Medias (Tukey $\alpha 0.05$) para encontrar diferencias de cada una de estas características de los tres sitios cultivados con caña de azúcar con respecto al bosque natural; y de esta forma examinar el comportamiento de estos parámetros químicos como indicadores de la calidad de suelos en el Sector Marfilar. El software utilizado para la corrida de datos fue el Statistix 8.0.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1.- Características Edáficas del área de estudio.

Para comenzar este cuarto capítulo, a continuación se muestran en las tablas 5 y 6, las principales características físicas y químicas de los suelos del lugar de estudio, las cuales fueron descritas por Chacón, (1990) y que permiten conocer las particularidades de estos suelos, previo a la evaluación de indicadores de la calidad de suelo.

Tabla 5. Características físicas de las Series de Suelos Finca “Santa Ana”.

Propiedades Físicas	Guanare Franco	Marfilar Franco Arcillosa	Morita Acillosa	Cenegal	Quintereña Franco Arcillo arenosa
Textura	Franco, franco limosa y franco arcillosa limosa.	Franco arcilloso, franco arcilloso limoso y arcillo limoso.	Arcillosas en todo el perfil.	Arcillosa, Arcillo limosa, Franco arcillosa.	Franco arcillo arenosa, Franco arenoso, arenoso francoso, y arenoso.
Color	Marrón grisáceo muy oscuro, en el horizonte superficial y marrón amarillento oscuro, en los subsiguientes se aprecian cutanes de color gris oscuro.	Marrón grisáceo muy oscuro, en la capa superficial, y marrón grisáceo en las subsiguientes.	Gris oscuro con manchas rojas en la capa superficial; marrón amarillento oscuro con manchas grises y rojas en los demás estratos.	Gris oscuro con manchas rojas en la capa superficial, gris oscuro con manchas rojas en la subsiguiente.	Marrón grisáceo muy oscuro, en el primer horizonte; marrón oscuro, los dos subsiguientes; y marrón amarillento oscuro en los restantes.
Estructura	Prismática que rompe en blocosa subangular, de moderado a fuerte desarrollo, y de tamaño mediano y fino.	Prismática, de desarrollo moderado y de tamaño gruesa y mediana.	Blocosa, de moderado desarrollo, y de tamaño grueso en las dos primeras capas; prismática, débil y gruesa en los subsiguientes.	Prismática, de desarrollo moderado y de tamaño gruesa y mediana.	Blocosa, de moderado desarrollo, y de tamaño mediano.
Consistencia	Débilmente dura, en seco, friable, en húmedo y adhesiva y plástica, en mojado.	Duro, en seco; firme, en húmedo; y muy adhesivo y muy plástico, en mojado.	Extremadamente dura, en seco; muy firme, en húmedo; muy adhesivo y muy plástico en mojado.	Duro, en seco; firme, en húmedo; y muy adhesivo y muy plástico, en mojado.	Blanda, muy friable, débilmente adhesiva y débilmente plástica.

Permeabilidad	Moderada.	Lenta.	Muy lenta.	Lenta.	Moderadamente rápida.
----------------------	-----------	--------	------------	--------	-----------------------

Fuente: Chacón *Op. Cit.* (1990).

Por lo que, de la tabla anterior se puede señalar que los suelos tienen texturas medias y finas; los colores varían de tonalidades desde marrón oscuro, marrón grisáceo, marrón amarillento y gris oscuro, con presencia de manchas rojas o gris en los horizontes superficiales o inferiores. En relación a la estructura, se observan dos tipos: prismática, blocosa; ambas con desarrollo moderado en la mayoría de las series de suelos. En cuanto, a la consistencia se puede señalar que esta varía de acuerdo a la clase textural. De forma similar, se comporta la permeabilidad.

Por otra parte, se tiene en la tabla 6 la química de los suelos de estudio. En donde, se pueden observar los valores y rangos para cada de estos parámetros. Allí, se puede detallar que en los primeros horizontes se encuentran niveles altos de fósforo y potasio, y contenidos medios de materia orgánica. En los inferiores se visualizan niveles bajos para las propiedades antes mencionadas. En relación al pH la mayoría tienden a la neutralidad; además son suelos no salinos, con un alto contenido de saturación de bases.

Tabla 6. Características químicas de las Series de Suelos Finca “Santa Ana”.

Propiedades Químicas	Guanare Franco	Marfilar Franco Arcillosa	Morita Arcillosa	Cenegal	Quintereña Franco Arcillo arenosa
pH	5.5 en primer horizonte (fuertemente ácido) y los 6.9 los subsiguientes (neutro).	7.1 – 7.3. Neutro a suavemente alcalino.	6.3 – 7.6 ligeramente ácido a suavemente alcalino.	6.3 - 7.7 Ligeramente ácido a suavemente alcalino.	5.8 (medianamente ácido), en el primer horizonte superficial; 8.2 (moderadamente alcalino), en los subsiguientes.
Conductividad Eléctrica	Baja. No hay problemas de salinidad.	Baja. No hay problemas de salinidad.	Baja, no hay problemas de salinidad.	Baja, no hay problemas de salinidad.	Baja. No hay problemas de salinidad.

Materia Orgánica	Media en el primer horizonte (0-15 cm), baja en los subsiguientes.	Media en primer horizonte (3.5%) y baja en los subsiguientes.	Media en primer horizonte (4.14%) y baja en los subsiguientes (1.3%).	Baja en primer horizonte (2.69%), baja en los subsiguientes (0.89%).	Media (3.16%) en primer horizonte, baja (1.28%) en los restantes.
Fósforo	Alto en primer horizonte, bajo en los subsiguientes.	Alto (más de 50ppm).	Alto (48 ppm), en primer horizonte (0 – 20 cm), medio (20 ppm), en el segundo horizonte (20 – 40 cm), y bajo en los subsiguientes.	Alto (51 ppm), bajo en los subsiguientes (7ppm).	Alto (49 ppm), en primer horizonte, bajo en los subsiguientes.
Potasio	Alto en primer horizonte, bajo en los subsiguientes.	Medio a Alto (96 – 140 ppm).	Medio (116 ppm), en primer horizonte; bajo en los subsiguientes (menos de 60 ppm).	Alto en primer horizonte (123 ppm), bajo (46 ppm) en los subsiguientes.	Alto (200 ppm), en el primer estrato; bajo (60ppm), en los subsiguientes.
Calcio	Alto	Alto (7 – 10 me/100 g de suelo).	Muy alto (10 – 20 me/100 g de suelo).	Alto (15-25 me/100 g de suelo).	Alto (10 me/100 g de suelo).
Magnesio	Medio	medio (1 – 2 me/100 g de suelo).	medio (0.6 – 1.6 me/100 g de suelo)	Alto (3-6 me/100 g de suelo).	Medio (2 me/100 g de suelo)
Capacidad de Intercambio Catiónico	Oscila entre 11 y 15 me/100 g de suelo; califica "media".	De 14 – 22 me/100 g de suelo (media).	Alta (40 me/100 g de suelo); media en subsiguientes (16 – 20 me/100 g de suelo).	Alta (36 me/100 g de suelo), media (17-24 me/100 g de suelo) en subsiguientes.	Media (10 - 20 me/100 g de suelo).
Porcentaje de Saturación con Bases (P.S.B)	Oscila entre 80 y 90% (alto).	De 60 – 80% (alta).	Alta (60 – 90%).	Muy Alta.	Alta (50 – 70%).

Fuente: Chacón *Op. Cit. Cit.* (1990).

4.2.- Cambios en las Propiedades Químicas de los suelos del área de estudio.

4.2.1.- Características Químicas.

Con el propósito de determinar los cambios de variables químicas evaluadas en el Sector Marfilar, a continuación se muestran en la tabla 7 los resultados obtenidos del muestreo de suelos realizado, y en las siguientes líneas la descripción de cada uno de estos parámetros, con respecto a los rangos establecidos para cada uno, y para el cultivo de la caña de azúcar.

Tabla 7. Propiedades químicas de los suelos del área de estudio.

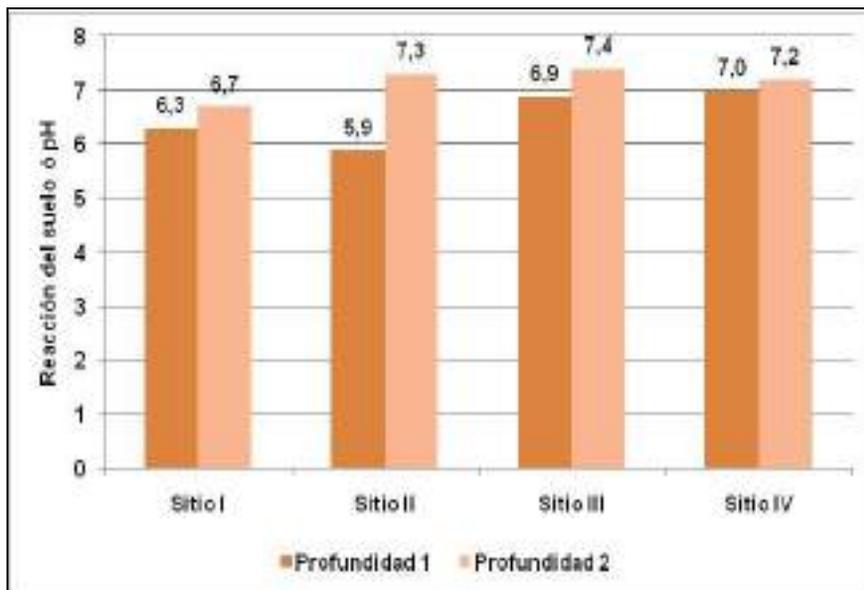
Sitios	Profundidad (cm)	pH	CE (dS/m)	MO (%)	CIC (cmol/kg)	N (Kg/ha/año)	P (ppm)	K (ppm)
I	0 - 20	6,3	0,30	4,22	14,10	84,4	28	225
	20 - 40	6,7	0,58	1,51	12,24	30,2	2	80
II	0 - 20	5,9	0,28	3,00	8,11	60,0	12	200
	20 - 40	7,3	0,67	1,11	6,18	22,2	10	55
III	0 - 20	6,9	0,23	2,86	10,40	57,2	15	135
	20 - 40	7,4	0,40	2,60	8,43	52,0	10	75
IV	0 - 20	7,0	0,33	3,93	12,56	78,6	16	212,5
	20 - 40	7,2	0,45	2,14	11,99	42,8	13	80

Reacción del suelo ó pH; CE: Conductividad Eléctrica; MO: Materia Orgánica; CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico; N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio.

Fuente: Fuente propia.

❖ **Reacción del Suelo ó (pH).**

En relación a esta propiedad química, el primer análisis que se puede realizar a este parámetro tiene que ver con señalar el tipo de pH que presenta los suelos del área de estudio. De allí, que al observar los valores pH registrados en la localidad antes mencionada (figura 9), y al compararlos con clasificación de esta variable establecida por Lobo *et al.* (2010), se puede indicar que el pH los suelos de estudio presentan tres tipos: moderadamente ácidos (5 a 6), ligeramente ácidos (6 a 6.5) y neutro (6.5 a 7.5).



Fuente: Sulbaran, (2018).

Fig. 9. Comportamiento del pH para los suelos del Sector Marfilar.

Los cuales, están distribuidos de la siguiente manera: el moderadamente ácido, se encuentra en los suelos cultivados con caña de azúcar por 2 años, en la capa de 0 a 20 cm. En cuanto al pH ligeramente ácido, este se localiza en los suelos de la profundidad de 0 a 20 cm del bosque natural.

Mientras que el neutro, está en los suelos del bosque natural y en los suelos cultivados con caña de azúcar por 2 años en la profundidad de 20 a 40 cm; así como en los suelos cultivados con caña de azúcar por 10 y 20 años en ambas profundidades.

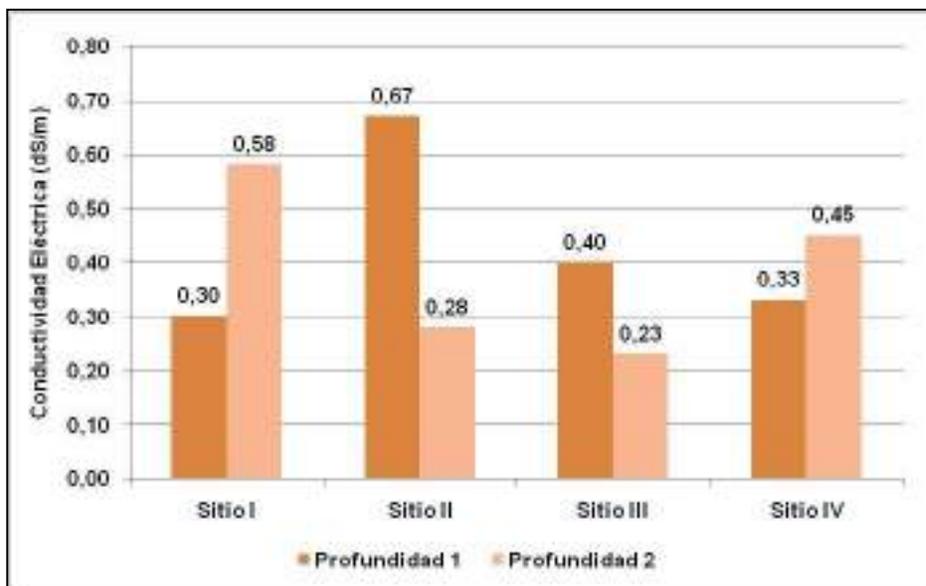
De igual forma, los valores de pH permiten estimar el contenido de bases de un suelo. De ahí, que Chacón, (2011) denota que suelos con pH entre 5,8 y 6,5 presentan alto contenido de bases, sin aluminio Al^{+3} . Asimismo, indica que suelos con pH entre 6,5 y 8,0 tienen moderado contenido de bases (Ca, Mg, K, Na). En este sentido, se observa que los valores de pH de los suelos objeto de estudio, se ubican en los rangos antes citados.

Por tanto, se puede concluir que los primeros, en la zona de estudio se encuentran en la profundidad de 20 a 40 cm de los cuatro sitios evaluados, así como en la capa de 0 a 20 cm de los sitios III y IV. En tanto, los segundos, se localizan en la profundidad de 0 a 20 cm del bosque natural y de los suelos cultivados con caña por dos años.

Adicionalmente, se puede destacar que los valores registrados para esta variable en el Sector Marfilar, permiten el establecimiento de la caña en esta zona, debido a que se encuentran en el rango de pH para dicho cultivo; el cual, según Aguilar, (2013) este valor oscila entre 5,0 y 8,5.

❖ **Conductividad Eléctrica.**

Otra de las características químicas medida en los suelos del área de estudio fue la conductividad eléctrica, cuyos valores registrados se visualizan en la figura 10. Allí, se puede observar que los valores no llegan a un dS/m, lo que indica, de acuerdo a los diferentes autores, en relación a la clasificación de salinidad de los suelos, que los suelos del Sector Marfilar no son salinos, debido a que su valor está por debajo de 2 dS/m



Fuente: Sulbaran, (2018).

Fig. 10. Conductividad Eléctrica de los suelos del Sector Marfilar.

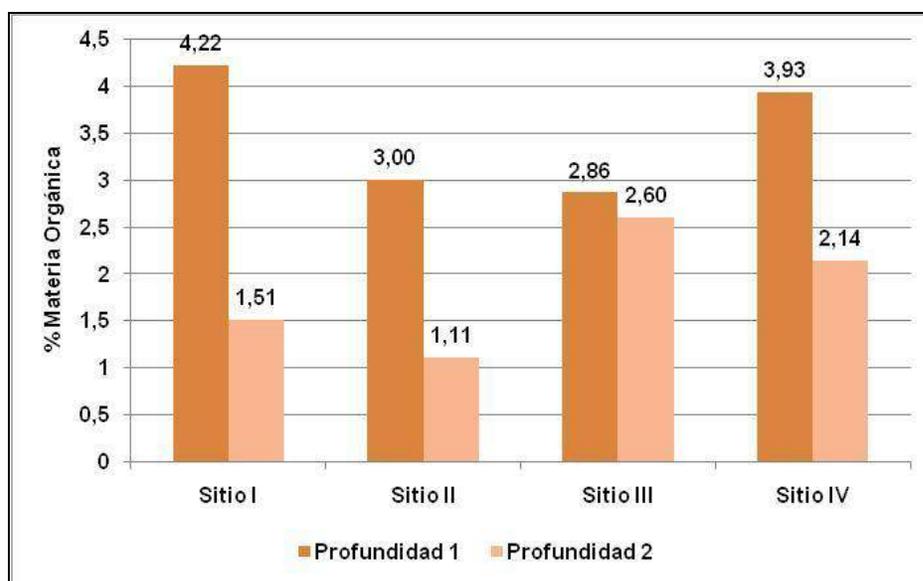
No obstante, en relación a los valores de conductividad eléctrica que deben tener los suelos cañeros, es importante señalar que no existe a nivel bibliográfico información precisa sobre este aspecto. La mayoría de las fuentes consultadas hacen referencia a la tolerancia del cultivo de la caña a la salinidad de los suelos.

En este contexto, se tiene que Mass y Hoffman (1997) y Mass (1984) citados por González, (2012) subrayaron que el umbral salino para el cultivo de la caña de azúcar es de 1,7 dS/m, así como el porcentaje de disminución del rendimiento por incremento de la salinidad es de 5,9 dS/m y su grado de tolerancia como moderadamente sensible.

Lo anteriormente reseñado, permite inferir que los suelos a ser utilizados para el cultivo de la caña de azúcar, deben contener bajo niveles de sales; es decir, menos de 2 dS/m para evitar problemas con la productividad de este rubro agrícola; situación que se observa en los suelos del Sector Marfilar.

❖ **Materia Orgánica.**

En relación a esta característica edáfica, se puede señalar que de acuerdo a Núñez, (2000) para los suelos de las regiones tropicales los porcentajes de materia orgánica de 1,8 son bajos, mientras que los comprendidos entre 1,8 y 4,5 son medios. Por lo que, al observar los valores de MO en el área de estudio (figura 11) en líneas generales, se puede concluir que estos se ubican en esta calificación.



Fuente: Sulbaran, (2018).

Fig. 11. Porcentajes de Materia Orgánica de los suelos del Sector Marfilar.

De igual manera, se tiene que a través de la textura se puede estimar con una buena aproximación los contenidos de materia orgánica de un suelo. Por lo que, es importante indicar que los suelos del área de estudio presentan texturas medias y finas (ver anexo 1).

Asimismo, es relevante traer a colación lo descrito por Chacón *Op. Cit*, (2011); quien señaló que para las texturas medias los valores bajos de

materia orgánica son menores a 2%, los medios entre 2 y 4%. Mientras, que para las finas los valores bajos son menores a 3% y los medios entre 3 y 5%.

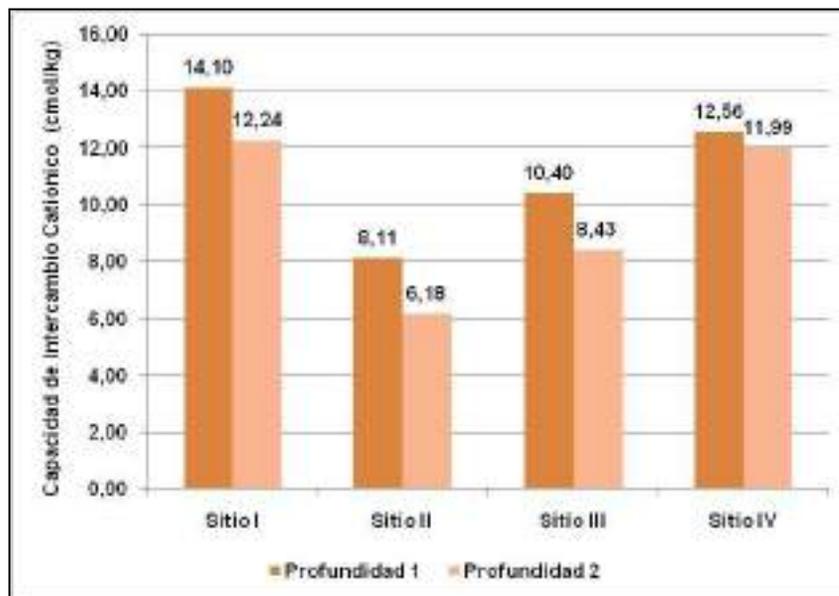
Por tanto, comparando los valores registrados de materia orgánica y relacionándolos con las clases textural de los suelos de estudio, se tiene que los contenidos de materia orgánica para el estrato de 0 a 20 cm para los cuatro sitios evaluados son medios. Mientras que para la siguiente capa (de 20 a 40 cm), los porcentajes de esta variable química son bajos.

Del mismo modo, se puede señalar que en relación a los suelos para el cultivo de la caña de azúcar, los diversos autores destacan que estos deben contener altos porcentajes de materia orgánica; sin embargo, no especifican valores de referencia como tal. Sin embargo, Salgado *et al.* (2014) subrayaron que un contenido de 3.2% de materia orgánica en el suelo, contribuye a mantener propiedades físicas y químicas adecuadas.

Por otra parte, al hacer referencia al comportamiento de esta propiedad en los suelos del Sector Marfilar en cuanto al monocultivo de la caña de azúcar, se observa que en relación al testigo (bosque natural), los porcentajes de materia orgánica tienden a una disminución en el primer horizonte.

❖ **Capacidad de Intercambio Catiónico.**

La siguiente variable química estudiada fue la capacidad de intercambio de cationes, cuyos valores para el área de estudio se visualizan en la figura 12. Asimismo, se tiene en primer lugar, al observar estos valores con lo establecido por Bravo, (1989) la capacidad de intercambio para los suelos del Sector Marfilar califica como baja (5 – 10 cmol/kg) y media (11 – 20 cmol/kg).



Fuente: Sulbaran, (2018).

Fig.12. Capacidad de Intercambio Catiónico de los suelos del Sector Marfilar.

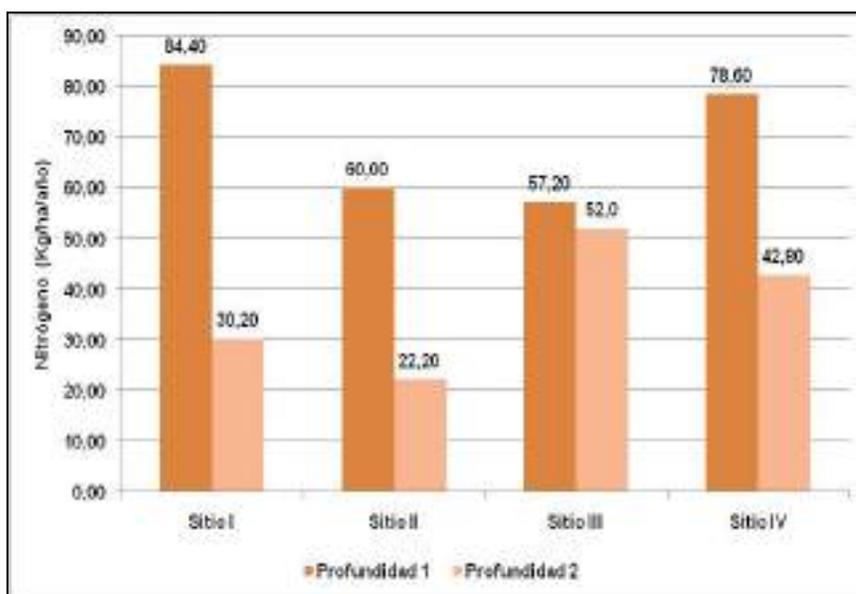
De allí, que la CIC baja se encuentra en los suelos de los sitios II a ambas profundidades y en los del sitio III en la capa de 20 a 40 cm. En tanto, la CIC media se localiza en los suelos del bosque natural en las dos capas evaluadas, en el sitio III en la profundidad de 0 a 20 cm y en el sitio IV en las dos profundidades. De igual forma, se puede denotar que la tendencia que se observa para esta variable es una menor CIC para los suelos intervenidos con caña en comparación al bosque natural.

Por otra parte, en cuanto a este parámetro químico y el cultivo de la caña de azúcar, Aguilar *Op. Cit.* (2013) señala que la capacidad de intercambio catiónico de los suelos para este rubro debe encontrarse entre 20 y 10 cmol/kg. En este sentido, se puede denotar que los suelos de la localidad de estudio presentan valores dentro de este rango, en el bosque natural y en los suelos cultivados con caña durante veinte años. No obstante, el resto de los sitios exhiben contenidos menores a 10 cmol/kg de suelo. Lo

que permite estimar, que éstos presenten limitaciones para retener e intercambiar nutrientes.

❖ Nitrógeno.

Con respecto a este parámetro químico, se puede señalar que es un elemento de interés para el cultivo, cuyos valores se observan en la figura 13. De igual forma, es oportuno acotar que estos datos fueron calculados a partir del porcentaje de materia orgánica, considerando que un por ciento de la materia orgánica equivale a 20 Kg N/ha/año (Casanova, 2005).



Fuente: Sulbaran, (2018).

Fig. 13. Contenido de Nitrógeno de los suelos del Sector Marfilar.

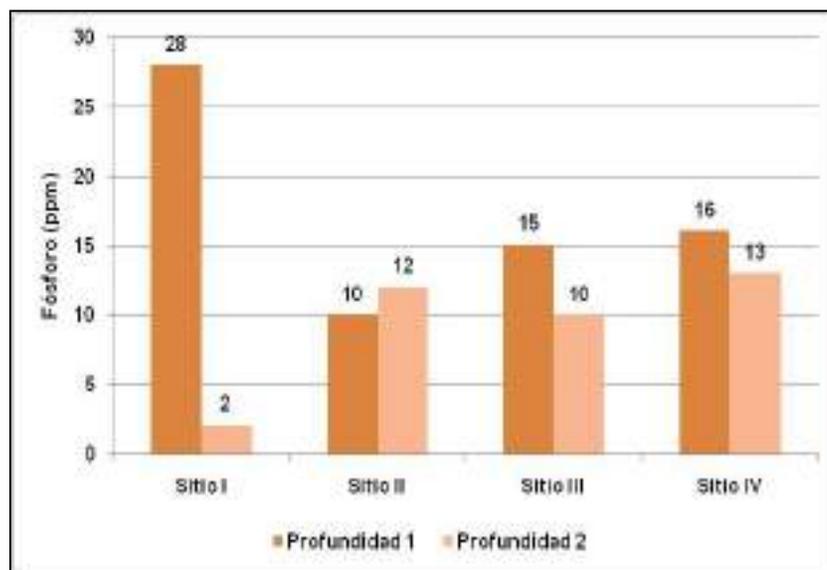
Por otra parte, se puede acotar que la tendencia que se visualiza para esta variable, es dependiente del contenido de materia orgánica de los suelos. De igual manera, es importante indicar que no existe una metodología que permita interpretar el contenido de nitrógeno en el suelo, así como ocurre con otros nutrientes (como por ejemplo: fósforo, potasio, entre

otros). Sin embargo, en el caso de la caña de azúcar, Digonzelli *et al.* (2015) señalan que el cultivo extrae entre 130 y 200 Kg/ha/año de este mineral.

De ahí, que se puede concluir que con los resultados antes observados, los suelos del Sector Marfilar ameritan de la aplicación de importantes dosis de fertilizante nitrogenado para satisfacer las necesidades del rubro, debido a las bajas cantidades que muestran estos suelos.

❖ Fósforo.

Un segundo elemento de interés para el cultivo de la caña analizado en el Sector Marfilar fue el fósforo (figura14).



Fuente: Sulbaran, (2018).

Fig.14. Valores de Fósforo de los suelos del Sector Marfilar.

Por lo que, en primer lugar se puede indicar que en función a las clases texturales existentes en el área de estudio (ver anexo 1), los niveles de fósforo registrados califican de acuerdo a López *et al.* (2008) como: Muy Bajo (0 ppm - 5 ppm) Bajo (6 ppm – 12 ppm), Medio (13 ppm – 25 ppm) y Alto (+25 ppm).

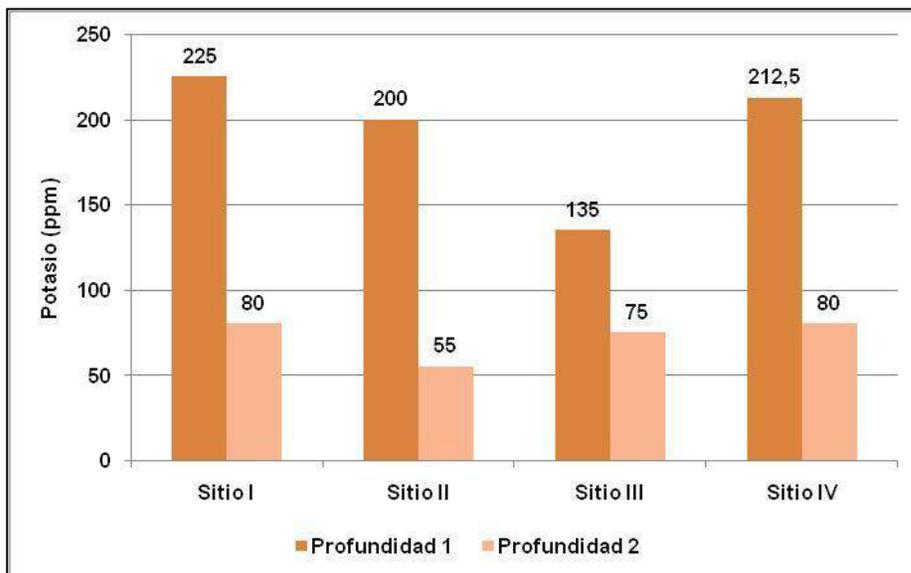
Los contenidos muy bajo se localiza en los suelos del bosque natural en la profundidad de 20 a 40 cm; mientras que los contenidos bajo, se ubican los suelos de los sitios II en ambas capas, así como en la capa 20 a 40 cm del sitio III. En cuanto al contenido medio, este se encuentra en los suelos cultivados con caña por diez años en la profundidad de 0 a 20 cm, y en los suelos del sitio IV en los dos estratos evaluados. Por último, el contenido alto de fósforo se observa en la profundidad de 0 a 20 cm del sitio I.

Por otro lado, en relación al cultivo de la caña de azúcar CONADESUCA, (2015) señalan que los suelos para este rubro requieren entre 9 y 40 ppm de fósforo. No obstante, Digonzelli *Op. Cit.* (2015) recomienda que se debe fertilizar con fósforo solamente en aquellos suelos cuyos contenidos sean inferiores a 25 ppm y, en especial, en los que muestren valores inferiores a 13 ppm.

Por tanto, se puede concluir que los suelos del área de estudio presentan niveles bajos de este nutriente, atribuidos al cultivo de la caña de azúcar y a la deficiente aplicación de fertilización fosfórica esta localidad. De allí, que se sugiere a los productores de caña aplicar abono con contenido de fósforo atendiendo a lo mencionado en el párrafo anterior.

❖ **Potasio.**

Un tercer elemento químico estudiado en los suelos del Sector Marfilar fue el Potasio. De allí, que al interpretar los valores reflejados en la figura 15, se puede denotar que estos se clasifican de acuerdo Gilarbert *et al.* (2015) en función a las clases texturales como medios (51 – 100 ppm) y altos (> 100 ppm).



Fuente: Sulbaran, (2018).

Fig. 15. Niveles de Potasio de los suelos del Sector Marfilar.

En este orden de ideas, los contenidos medios se encuentran en la profundidad de 20 a 40 cm de los suelos del bosque natural y de los sitios II, III y IV. Mientras que los niveles altos de potasio se localiza en la capa de 0 a 20 cm de los cuatro sitios evaluados.

Por otra parte, con respecto al contenido de potasio de los suelos para el cultivo de la caña de azúcar, se puede denotar que los valores obtenidos en el área de estudio se encuentran en los rangos establecidos; es decir, entre 468 y 39 ppm (CONADESUCA *Op. Cit.* 2015). No obstante, se observa que hay poca variación entre el bosque natural y los suelos cultivados con caña. Lo que indica, que a través de el manejo se ha compensado la extracción de este elemento.

4.2.2.- Análisis Estadístico.

Con la finalidad de estudiar desde el punto de vista estadístico si existen ó no diferencias de las propiedades químicas de los suelos del Sector Marfilar, y de esta forma analizar el comportamiento de estas características edáficas como indicadores de la calidad de suelos, se visualizan en la tabla 8 en primer lugar los resultados obtenidos al aplicar un análisis descriptivo de resumen a las características químicas de los suelos de estudio.

Tabla 8. Análisis Descriptivo de resumen de las Variables Químicas valoradas.

Parámetros Estadísticos	pH	CE	MO	CIC	N	P	K
Coeficiente de Variación	7.5768	38.000	40.518	25.734	40.518	55.423	52.739
Media	6.8375	0.4050	2.6713	10.501	53.425	13.250	132.81
Varianza	0.2684	0.0237	1.1714	7.3030	468.58	53.929	4906.1
Desviación Estándar	0.5181	0.1539	1.0823	2.7024	21.647	7.3436	70.044
Mediana	6.9500	0.3650	2.7300	11.195	54.600	12.500	107.50
Máximo	7.4000	0.6700	4.2200	14.100	84.400	28.000	225.00
Mínimo	5.9000	0.2300	1.1100	6.1800	22.200	2.0000	55.000

Reacción del suelo ó pH; CE: Conductividad Eléctrica (dS/m); MO: Materia Orgánica (%); CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol/kg); N: Nitrógeno (Kg/ha/año); P: Fósforo (ppm); K: Potasio (ppm).

Fuente: Sulbaran, (2018).

Como se puede observar en la tabla anterior, las variables conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio registran un coeficiente de variación mayor al 25%; lo que sugiere la revisión de la metodología usada para la medición de estas variables, de forma que sean datos confiables. En contraparte, el pH y la capacidad de intercambio

catiónico exhiben un coeficiente de variación $\leq 25\%$; señalando que los resultados son confiables desde el punto de vista estadístico.

Por otra parte, analizando cada variable de forma individual se tiene que el pH tiene una media de 6.83, una mediana de 6.95, y valores máximos y mínimos de 7.4 y 5.9 respectivamente. En cuanto a la conductividad eléctrica, la media es 0.40 dS/m, 0.36 dS/m para la mediana y 0.67 dS/m como valor máximo y 0.23 dS/m como mínimo.

Mientras, que la materia orgánica, tiene una media de 2.67 %, una mediana de 2.73% y porcentajes de 4.22 como máximo y de 1.11 como mínimo. Para la capacidad de intercambio catiónico, la media es de 10.50 cmol/kg, 11.195 cmol/kg de mediana y 14.100 cmol/kg como máximo y 6.180 cmol/kg como mínimo.

Asimismo, en relación al nitrógeno, la media es 53.425 Kg/ha/año, 54.60 Kg/ha/año de mediana, y de máximo 84.40 Kg/ha/año así como 22.20 Kg/ha/año como mínimo. Para el fósforo, la media se ubica en 13.25 ppm, la mediana en 12.50 ppm y los valores máximos y mínimos son de 28.00 y 2.00 ppm respectivamente. Por último, el potasio registra una media de 132.81 ppm, 107.50 ppm de mediana, y 225.0 ppm como valor máximo, así como un mínimo de 55.00 ppm.

❖ **Análisis de la Varianza.**

Un segundo análisis estadístico efectuado, fue el análisis de la varianza ($P < 0.05$) con el propósito determinar si existen o diferencias de las características químicas medidas en este trabajo, cuyos resultados se visualizan en la tabla 9.

Tabla 9. Análisis de la Varianza para las propiedades químicas evaluadas.

ANOVA	Coefficiente de Variación (%)	Valor de F	Valor de P
Reacción del Suelo ó pH	8.03	0.75	0.5786 ns
Conductividad Eléctrica (dS/m)	45.68	0.28	0.8371 ns
Materia Orgánica (%)	49.85	0.21	0.8862 ns
Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol/kg)	11.36	10.6	0.0224 *
Nitrógeno (Kg/ha/año)	49.85	0.21	0.8862 ns
Fósforo (ppm)	71.30	0.08	0.9694 ns
Potasio (ppm)	66.93	0.12	0.9464 ns

Fuente: Sulbaran, (2018).

De la tabla anterior, se puede señalar que de las propiedades químicas valoradas en el Sector Marfilar, se comportan de forma similar, sin mostrar cambios. Sin embargo, la capacidad de intercambio catiónico es la que presenta de manera significativa diferencias de las demás características químicas.

De allí, que se puede acotar en relación a esta variable, que este resultado es comparable con lo obtenido por Armida *et al.* (2005), quienes encontraron que este parámetro fue estadísticamente diferente ($P < 0.05$) entre el suelo de selva y vertisoles cultivados con caña de azúcar.

Por otra parte, también se puede señalar con respecto a las variables pH, materia orgánica y potasio, en donde no se muestran diferencias significativas lo reportado por Ribón *et al.* (2003); los cuales indicaron que aunque el cultivo de la caña se adapta en un amplio intervalo de pH, su mejor desarrollo se ha observado en suelos con pH de 6,5 a 7,0 donde la mayoría de los nutrimentos esenciales están disponibles para el cultivo. Situación que se observa en los suelos del área de estudio.

De igual forma, en el caso de la materia orgánica estos autores destacan que en localidades en donde se practica la quema antes de la cosecha de la caña de azúcar, como ocurre en el Sector Marfilar, el aporte más importante de materia orgánica al suelo son las raíces, y que dependiendo de la variedad y ciclo del cultivo se incorporan al suelo de 2,2 a 5,5 ton/ha de raíces. Por lo que, al no observarse diferencias en este parámetro se deduce que se debe a lo reseñado por estos investigadores.

Por último, en cuanto al elemento potasio se puede inferir que los resultados obtenidos se atribuyen a los siguientes factores denotados por Ribón *Op. Cit.* (2003) como el aporte de K por las cenizas de los residuos de caña y a la aportación residual del fertilizante.

❖ Prueba de Comparación de Medias.

Ahora bien, luego de este análisis en la tabla 10 se tienen los resultados de la Prueba de Comparación de Medias (Tukey α 0,05), de cada una de las características químicas de los sitios cultivados con caña de azúcar con respecto al testigo, en este caso, el bosque natural (Sitio I); un área no intervenida hasta la fecha en la finca.

Tabla 10. Prueba de Comparación de Medias (Tukey α 0,05) de las características químicas analizadas.

Sitios Evaluados	pH	CE	MO	CIC	N	P	K
I	6.5a	0.44a	286a	13.17a	57.30a	15.0a	152.5a
II	6.6a	0.47a	2.05a	7.14b	41.10a	11.0a	127.5a
III	7.15a	0.31a	2.73a	9.41a	54.60a	12.5a	105.0a
IV	7.1a	0.39a	3.03a	12.27a	60.70a	14.5a	146.25a

Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0,05$).

Reacción del suelo ó pH; CE: Conductividad Eléctrica (dS/m); MO: Materia Orgánica (%); CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico (cmol/kg); N: Nitrógeno (Kg/ha/año); P: Fósforo (ppm); K: Potasio (ppm).

Fuente: Sulbaran, (2018).

De allí, que de acuerdo a la tabla anterior, se puede evidenciar que no existen diferencias significativas en los pares de medias para las variables químicas consideradas en este trabajo, a excepción de la capacidad de intercambio catiónico del sitio II, con una diferencia de 6.02 cmol/kg en relación al testigo.

Por último, se tiene que los resultados antes mostrados permiten inferir que el monocultivo de la caña de azúcar no ha incidido negativamente cómo se esperaba en el los suelos del área de estudio. De igual forma, se puede sugerir a la capacidad de intercambio catiónico como indicador de la calidad de suelos, con el cual se podrían detectar cambios en la funcionabilidad de los suelos de Marfilar.

CONCLUSIONES.

1.- A través de la caracterización realizada a los suelos del Sector Marfilar, se puede observar que estos suelos presentan texturas medias y finas; el color de suelos varía de marrón grisáceo a amarillento; presentan estructuras prismáticas y blocosa de moderado desarrollo. El pH tiende a la neutralidad; no presentan problemas de salinidad; constan de porcentajes medios de materia orgánica, altos de fósforo y potasio en los primeros estratos y bajos en los restantes; poseen un alto contenido de saturación de bases.

2.- Los resultados del muestreo de suelos en el área de estudio en primer lugar, arrojaron que en la zona se observan tres tipos de pH: neutro, ligeramente ácido y moderadamente ácido; el cual, es óptimo para el cultivo de la caña de azúcar. En relación a la salinidad, no presentan inconvenientes y el umbral salino es inferior al establecido para el rubro caña. Los contenidos de materia orgánica son medios y bajos. La capacidad de intercambio catiónico es baja y media, con limitaciones para el cultivo de la caña en algunos lugares, ya que los rangos se ubican en esas áreas están por debajo de lo fijado para este rubro. En tanto, el nitrógeno oscila entre 84.40 y 22.20 Kg/ha/año, resultando bajo para el requerimiento nutricional de la caña de azúcar. El fósforo presenta limitaciones para el cultivo, a pesar de que los suelos exhiben porcentajes bajos, medios y altos. El potasio se sitúa entre medio y alto, encontrándose en los rangos requerido por la caña de azúcar.

3.- Al estudiar el comportamiento estadístico de las variables químicas de los suelos del área de estudio, se obtuvo en primer lugar en el análisis descriptivo de resumen, diferencias entre los coeficientes de variación en la

mayoría de estas propiedades, los cuales fueron mayores al 25%. Lo cual, sugiere la revisión de metodologías y la incorporación de más sitios de muestreos. Asimismo, en el análisis de la varianza no se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en las propiedades químicas de los suelos del área de estudio. Sin embargo, el parámetro capacidad de intercambio catiónico en este análisis, así como en la prueba de comparación de medias ($\alpha 0.05$) mostró diferencias significativas en relación al testigo, en el sitio II. En contraste, las demás variables no reflejaron diferencias significativas en ambos análisis. Por lo que, se puede sugerir el uso de esta variable como indicador de la calidad de suelos para el Sector Marfilar.

4.- En cuanto a la calidad de los suelos, se estima de acuerdo a los resultados obtenidos del muestreo, una buena calidad de los mismos, pese a las deficiencias de algunos elementos (N, P) y al comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico.

RECOMENDACIONES.

1.- Realizar más muestreos en el área de estudio, así como en diferentes épocas del cultivo; con el propósito de observar una mayor variabilidad en las propiedades consideradas en este trabajo.

2.- Evaluar un número mayor de variables químicas, así como incorporar parámetros físicos y biológicos, que permitan estudiar con una mayor amplitud la funcionalidad de los suelos del Sector Marfilar; y a su vez permitan establecer cuáles de estos indicadores son más sensibles a valorar en esta localidad.

REFERENCIAS CONSULTADAS.

- Aguilar, N. 2013. Ficha técnica del cultivo de caña de azúcar. [Revista en línea]. En: http://www.nutriciondebovinos.com.ar/MD.../CAÑA_DE_AZÚCAR,_FICHA_TÉCNICA.pdf. [Consulta: Junio 10, 2018].
- Amodio, E; Molina, L. 2010. Presentación historia y antropología de la caña de azúcar en Venezuela. [Revista en línea]. En: <http://www.redalyc.org/pdf/177/17731133007.pdf>. [Consulta: Noviembre 14, 2018].
- Arias, F. 2006. El proyecto de investigación: introducción a la metodología científica. 5 ed. Espisteme. Venezuela. 143 pp.
- Armida, L; Espinosa, D; Palma, D; Galvis, A; Salgado, S. 2005. Carbono en biomasa microbiana y carbono soluble como indicadores de calidad de vertisoles cultivados con caña azucarera. [Revista en línea]. En: <http://www.redalyc.org/pdf/573/57311146013.pdf>. [Consulta: Junio 10, 2018].
- Bautista, A; Etchevers J., Castillo, R; Gutiérrez, C. 2004. La Calidad del suelo y sus indicadores. [Revista en línea]. En: <http://www.revistaecosistemas.net/>. [Consulta: Junio 10, 2018].
- Bravo, S. 1989. Manual de prácticas de edafología I. Vicerrectorado de Producción Agrícola, Unellez. 200 pp.
- Bolaños, E. 2012. Tema: muestra y muestreo. [Documento en línea]. En: <https://es.slideshare.net/Docentes...1/tema-muestra-y-muestreo>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Bolaños, J; Oviedo, M; Chaves, M. 2006. Efecto de la cosecha mecanizada sobre los rendimientos industriales de la caña de azúcar (*saccharum spp*) en el ingenio quebrada azul, san carlos, costa rica. [Documento en línea]. En: <http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5873>. [Consulta: Junio 10, 2018].
- Bolio, G; Salgado, Sergio; Palma, David; Lagunes, L; Castelán, M; Etchevers, J. 2008. Dinámica del potasio en vertisoles y fluvisoles cultivados con caña de azúcar. [Revista en línea]. En:

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57313050007>. [Consulta: Septiembre 19, 2018].

Chacón, E. 1990. Estudio de suelos semidetallado finca "Santa Ana" Edo. Portuguesa. Oficina de Estudios Edafológicos. Guanare, Estado Portuguesa. 415 pp.

Chacón, E. 2011. Caracterización Química de los Suelos. Apuntes Postgrado Manejo de los Recursos Agua y Suelos. Unellez Guanare.

Campitelli, P; Aoki, A; Gudelj, O; Rubenacker, A; Sereno, R. 2010. Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. [Revista en línea]. En: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v28n2/v28n2a10.pdf>. [Consulta: Junio 03, 2018].

Cantú, P; Becker, A; Bedano, J; Schiavo, H. 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. [Revista en línea]. En: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php>. [Consulta: Junio 03, 2018].

Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. UCV, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas, Venezuela. 393 pp.

Centro Cartográfico Unellez. 2018.

Cisneros, R. 2003. Apuntes de la materia de riego y drenaje. [Documento en línea]. En: <http://www.ingenieria.uaslp.mx/Documents/Apuntes/Riego%20y%20Drenaje.pdf>. [Consulta: Junio 03, 2018].

CONADESUCA. 2015. Boletín técnico informativo octubre: nutrición del cultivo de caña de azúcar y uso eficiente de fertilizantes. [Documento en línea]. En: http://www.gob.mx/cms/uploads/.../file/.../Boletin_Tecnico_Informativo_Octubre_2015.pdf. [Consulta: Junio 03, 2018].

Digonzelli, P; Romero, E; Scandaliaris, J. 2015. Guía técnica del cañero. [Documento en línea]. En: https://issuu.com/proicsa/docs/guia_tecnica_del_ca__ero. [Consulta: Septiembre 30, 2018].

- FAOSTAT. 2017. Datos. [Software en línea]. En: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. [Consulta: Septiembre 30, 2017].
- García, M; Alliaume, F; Mancassola, V. 2009. La importancia del recurso suelo en la sostenibilidad de los sistemas de producción en el Sur de Uruguay. [Revista en línea]. En: http://eulacias.org/wpcontent/uploads/2013/05/revista_noticiero_16_ octubre_2009.pdf. [Consulta: Junio 03, 2018].
- García, M; Serrano, H. 2015. Fertilización de la caña *Saccharum officinarum* L. Poaceae. [Documento en línea]. En: <https://tecnoagro.com.mx/revista/2015/no-99/fertilizacion-de-la-cana-saccharum-officinarum-l-poaceae/>. [Consulta: Septiembre 19, 2018].
- González, R. 2012. Salinidad de suelos. Apuntes Postgrado Manejo de los Recursos Agua y Suelos. Unellez Guanare.
- Gilarbert, J; Arrieché, I; León, I. López, I. 2015. Análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad: manual de métodos y procedimientos de referencia. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 215 pp.
- Guerrero, J. 2012. Análisis de suelos y fertilización en el cultivo caña de azúcar. [Documento en línea]. En: www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/012-a-cana-de-azucar.pdf. [Consulta: Septiembre 19, 2018].
- Herrera, A; Ramos, N; Molina, F; Ordóñez, P; Martínez, P; Castillo, A. 2009. Efecto del manejo de los residuos de cosecha de la caña de azúcar (*Saccharum spp.* híbrido) sobre el rendimiento de campo en Veracruz, México. [Revista en línea]. En: <http://www.bioline.org.br/pdf?cg09065>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Instituto Nacional de Estadística. 2011. Estación meteorológica numero 80428 guanare: datos meteorológicos, 1993 – 2008. [Documento en línea]. En: www.ine.gov.ve/documentos/see/sintesisestadistica2011/estados/.../EM2Guanare.xls. [Consulta: Junio 03, 2018].

- Jiménez, R; González, V. 2006. La calidad de suelos como medida para su conservación. [Revista en línea]. En: <http://www.edafologia.net/revista/tomo13c/articulo125.pdf>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Lazcano, I. 2006. El potasio esencial para un buen rendimiento en la caña de azúcar. [Documento en línea]. En: www.ipni.net/.../El+Potasio+Esencial+para+un+buen+rendimiento+en+la+caña+de+az... [Consulta: Septiembre 19, 2018].
- Lobo, V; Del Cura, F. 2010. Manual de edafología estudio del suelo para la producción agrícola. [Documento en línea]. En: <https://issuu.com/yambori/docs/edafologia>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- López, I; Alfonzo, N; Gómez, N; Navas, M; Yañez, P. 2008. Manual de alternativas de recomendaciones de fertilización para cultivos prioritarios en Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Aragua, Venezuela. 397 pp.
- López, R. 2002. Degradación del suelo. Causas, procesos, evaluación e investigación. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Mérida, Venezuela. 267 pp.
- Lozano, Z. 2006. Muestreo con fines de caracterización y evaluación de propiedades de los suelos. En: http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/view/984. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Mago, P. 1986. El suelo y su manejo en la caña de azúcar. [Revista en línea]. En: http://www.sian.inia.gob.ve/revistas_ci/canadeazucar/ca_informacion.htm. [Consulta: Junio 18, 2018].
- Ministerio de Agricultura y Tierras. 2007. Censo agrícola. [Documento en línea]. En: <http://censo.mat.gob.ve/>. [Consulta: Septiembre 19, 2018].
- MOP. 1968. Estudio agrológico y de clasificación de tierras para riego detallado sistema de riego río Guanare edo. Portuguesa.

- Navarrete, A; Segueda, G. López, J. Rodríguez, M. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. [Revista en línea]. En: <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Navarro, S; Navarro, G. 2003. Química agrícola. 2da. Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. 438 pp.
- Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. 2016. Estimating Moist Bulk Density by Texture. [Documento en línea]. En: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/.../tr/?cid...> [Consulta: Junio 03, 2018].
- Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. 2002. National soil survey handbook. [Libro en línea]. En: <http://www.soils.usda.gov/technical/handbook>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. 2008. Soil quality indicators: bulk density. [Documento en línea]. En: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Núñez, J. 2000. Fundamentos de edafología. Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica. 190 pp.
- Organización de las Naciones Unidas. 2002. Cumbre de Johannesburgo 2002. [Documento en línea]. En: <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Ospina, A; Florentino, A; Velázquez, L; Araujo, D. 2006. Evaluación de la calidad física del suelo bajo diferentes sistemas de labranza y rotación de cultivos en Turén, estado Portuguesa. [Documento en línea]. En: <http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/CVCS19/...suelo/UM57.pdf>. [Consulta: Junio 03, 2018].

- Porta, J; López, M; Poch, R. 2008. Edafología: uso y protección de suelos. [Libro en línea]. En: <http://www.books.google.co.ve/books?isbn=8484766616>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Pérez, O. 2014. El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala. [Libro en línea]. En: <https://cengicana.org/files/20170103101309141.pdf>. [Consulta: Septiembre 19, 2018].
- Pérez, O. 2017. Guía de buenas prácticas agrícolas en caña de azúcar. [Documento en línea]. En: <https://cengicana.org/files/20170425171748989.pdf>. [Consulta: Septiembre 19, 2018].
- Quintero, R. 1995. El cultivo de la caña de azúcar en la zona azucarera de Colombia. [Libro en línea]. En: http://www.cenicana.org/publicaciones/libro_cana/libro_cana.php. [Consulta: Junio 18, 2018].
- Quintero, R. 2008. Efectos de la aplicación de elementos menores en caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca. [Revista en línea]. En: http://www.tecnicana.org/pdf/2008/tec_v12_no20_2008_p18-26.pdf. [Consulta: Septiembre 19, 2018].
- Quiroz, I; Pérez, A. 2013. Vinaza y compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. [Revista en línea]. En: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263128352019>. [Consulta: Junio 10, 2018].
- Rengel, M; Gil, F; Montaña, J. 2011. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en caña de azúcar. [Revista en línea]. En: www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316... [Consulta: Junio 10, 2018].
- Ribón, M., Salgado, S; Palma, D., Lagunés, L. 2003. Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar Interciencia. [Revista en línea]. En: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33907805>. [Consulta: Noviembre 23, 2018].

- Rodríguez, L; Valencia, J; Bolívar, J. 2010. Tráfico de equipos de cosecha, compactación y efectos superficiales. [Revista en línea]. En: https://www.tecnicana.org/pdf/2010/tec_no26_2010_p33-37.pdf. [Consulta: Noviembre 23, 2018].
- Romero, E; Alonso, L; Casen, S; Leggio, M; Tonatto, J; Scandaliaris, J; Digonzelli; Giardina, J; Ullivarri, J. 2009. Manual del cañero. [Libro en línea]. En: <http://www.eeaoc.org.ar/publicaciones/categoria/18/50/Manual-del-Canero.html>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Rossi, M. 2004. Materia orgánica: su utilización en la calidad del suelo en distintos ambientes del sur de santa fe. [Revista en línea]. En: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/A07639C9FDA94B058525799900609B79/\\$FILE/MSRossi-MOcalidad%20del%20suelo1.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/A07639C9FDA94B058525799900609B79/$FILE/MSRossi-MOcalidad%20del%20suelo1.pdf). [Consulta: Junio 03, 2018].
- Salas, M. 2004. El cultivo de la caña de azúcar en la costa granadina. [Libro en línea]. En: https://books.google.co.ve/books/about/El_cultivo_de_la_ca%C3%B1a_de_az%C3%BAcar_en_la.html?id=YbkWiG54VCEC&redir_esc=y. [Consulta: Junio 03, 2018].
- Salgado, S; Aranda, E; Castelán, M; Ortiz, H; Palma, D; Córdova, S. 2014. Qué hacer con la paja de la caña mecanizada de la caña de azúcar. [Revista en línea]. En: <https://www.researchgate.net/.../309152646> [Consulta: Junio 18, 2018].
- Sánchez, G; Obrador, J; Palma, D; Salgado, S. 2003. Densidad aparente en un vertisol con diferentes agrosistemas. [Revista en línea]. En: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378... [Consulta: Junio 18, 2018].
- Sánchez, R; Palma, D; Obrador, J; López, U. 2003. Efecto de los rastros sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo vertisol y rendimientos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en tabasco, méxico. [Revista en línea]. En: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script>. [Consulta: Junio 03, 2018].
- STATISTIX 2003. Statistix, versión 8.0. Manual de usuario. Analytical Software. 396 pp.

- Suarez, L. 2012. Manejo agronómico del cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) en un predio de mahuixtlan, veracruz, estudio de caso. [Documento en línea]. En: cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31585/1/suarezgarcialuisfernando.pdf. [Consulta: Junio 18, 2017].
- Subirós, F. 1995. El cultivo de la caña de azúcar. [Libro en línea]. En: https://books.google.co.ve/books/about/Cultivo_de_la_Ca%C3%B1a_de_Az%C3%BAcar.html?hl=es&id=2wpC1j2AmkAC&redir_esc=y [Consulta: Junio 18, 2018].
- Stracuzzi, S; Pestana, F. 2012. Metodología de la investigación cuantitativa. Fedupel. Venezuela. 285 pp.
- Tamayo, M. 2004. El proceso de la investigación científica. 4ta. ed. Limusa, México. 440 pp.
- Tejos, R. 2002. Pastos nativos de sabanas inundables: caracterización y manejo. Litografía Megagraf. 108 pp.
- Thompson, L; Troeh, F. 2002. Los suelos y su fertilidad. 4 ed. Editorial Reverté, Barcelona, España. 661 pág.
- Torres, D; Florentino, A; López, M. 2006. Indicadores e índices de calidad del suelo en un ultisol bajo diferentes prácticas de manejo conservacionista en Guárico, Venezuela. [Revista en línea]. En: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316>. [Consulta: Junio 10, 2018].
- UEMPAT – PORTUGUESA. 2018. Datos estadísticos de producción del estado Portuguesa.
- Usón, A; Boixadera, J; Bosch, A. 2010. Tecnología de suelos: estudio de casos. Universidad de Zaragoza. España. [Libro en línea]. En: <http://www.books.google.co.ve/books?isbn=8492774975>. Consulta: [Consulta: Junio 10, 2018].
- Velasco, J. 2014. Los biofertilizantes y la producción de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). [Revista en línea]. En: https://www.researchgate.net/.../267212325_Los_biofertilizantes_y_la_produccion_de_c.... [Consulta: Septiembre 19, 2018].

Villegas, F. 2010. Sistema radical de la caña de azúcar. [Revista en línea].
En: https://www.tecnicana.org/pdf/2010/tec_no25_2010_p27-31.pdf.
[Consulta: Junio 18, 2018].

ANEXOS.

Anexo 1.

❖ Clases texturales de los suelos de estudio.

Tabla 1. Texturas de los suelos del Sector Marfilar.

Sitios	Profundidad (cm)	Clase Textural	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
I	0 - 20	A.L	18,4	40,0	41,6
	20 - 40	F.A	22,4	38,0	39,6
II	0 - 20	F.A	44,4	22,0	33,6
	20 - 40	F.A.a	52,4	22,0	25,6
III	0 - 20	F.A	42,4	24,0	33,6
	20 - 40	F.A	40,4	22,0	37,6
IV	0 - 20	A	16,4	30,0	53,6
	20 - 40	A	6,4	32,0	61,6

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2.
Galería Fotográfica.



Tesista realizando el muestreo en campo.



Aspecto del Bosque Natural.



Muestreo en el Bosque Natural.



Suelos cultivados con caña por 2 años.



Suelos cultivados con caña por 10 años.



Suelos cultivados con caña por 20 años.

Anexo 3.
Resultados de Laboratorio.



Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
UNELLEZ
Escuela de Postgrado Agrícola
LA UNIVERSIDAD QUE CAMBIA

Laboratorio de Análisis y Procesamiento de Soja

RUTINA

Id: 1700

Fincas: SANTANA

Municipio: GUANARE

Propietario: ALICIA BUIRNAS

Estado: PORTUGUESA

Localidad: MARTÍNEZ GUANARE

N° Lab:	30001	30002	30003
Ident. Muestra:	M-1	M-2	M-3
Cultivo:	CAÑA DE AZÚCAR	CAÑA DE AZÚCAR	CAÑA DE AZÚCAR
Prof (cm):	0-20	20-40	0-20
pH (So) 1:2:	6,3	6,7	5,9
Cond Eléct (dS/m):	0,20	0,38	0,67
Mat Org (%):	4,33	1,50	3,38
Fósforo (ppm):	28	7	10
Potasio (ppm):	22	80	280
Calcio (ppm):			
Magnesio (ppm):			
Alúmina (mg/100g):			
Tanino:	A,1	F,4	F,5
Arma (%):	18,8	72,4	44,4
Arriba (%):	41,0	79,6	38,6
Limo (%):	40,8	18,0	22,9

Nota: pH Potenciométrico, Cond. Eléct. Salina, Carbono Orgánico, Nitrógeno Total, Fósforo Total, Potasio Total, Calcio Total, Magnesio Total, Alúmina Total, Tanino Total, Arma Total, Arriba Total, Limo Total.



L. Llanos, 2014
Escuela de Postgrado Agrícola

16/10/2017 09:15 p.m.

Caracas, Venezuela. Dirección: Avenida Nueva de Caracas, 1000. Teléfono: 0212-9100000-9 (Ext. 1004)



Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
"EZEQUEL ZAMORA"
UNELLEZ
Vicerrectorado de Producción Agrícola
LA UNIVERSIDAD QUE SIEMPRE

Laboratorio de Análisis y Procesamiento de Suelo

RUTINA

Id: 1710 Propietario: ALICIA SULBARAN
Finca: SANTA ANA Estado: PORTUGUESA
Municipio: GUANARE Localidad: MARFILAR-GUANARE

N° Lab:	36063	35064	36065
Ident Muestra:	M-4	M-5	M-6
Cultivo:	CAÑA DE AZUCAR	CAÑA DE AZUCAR	CAÑA DE AZUCAR
Prof (cm):	20-40	0-20	20-40
pH (Rel 1:2):	7,3	7,4	6,9
Cond Eléct (dS/m):	0,78	0,23	0,40
Mat Org (%):	1,11	2,60	2,86
Fósforo (ppm):	12	10	15
Potasio (ppm):	55	75	135
Calcio (ppm):			
Magnesio (ppm):			
Al Inter (meq/100g)			
Textura:	F.A.a	F.A	F.A
Arena (%):	52,4	42,4	40,4
Arcilla (%):	25,6	33,6	37,6
Limo (%):	22,0	24,0	22,0

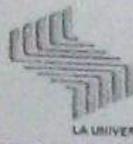
Métodos: pH Potenciométrico. Conductividad Eléctrica: Conductimétrico. Materia Orgánica: Walkley-Black. Fósforo: Olsen e Bray; Potasio, Acetato de Amonio-fotometría de flama; Calcio y Magnesio: Acetato de Amonio pH7- Absorción Atómica; Aluminio Intercambiable: RCL IN; Textura Bouyoucos.



Lcdo. Ail Cobir
Coordinador de Laboratorio

16/10/2017 09:51:16 a.m.

Carretera Nacional Guanare-Bisnoso, sector Mesa de Caimán, C.A. UNELLEZ, Guayana Boliviana F.: teléfonos 0257-2568006-8 Ext. 1054



Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
UNELLEZ
Vicerrectorado de Producción Agrícola
LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

Laboratorio de Análisis y Procesamiento de Suelo

RUTINA

Id: Propietario:
 Finca: Estado:
 Municipio: Localidad:

N° Lab:	<input type="text" value="36066"/>	<input type="text" value="36067"/>	<input type="text"/>
Ident Muestra:	<input type="text" value="M-7"/>	<input type="text" value="M-8"/>	<input type="text"/>
Cultivo:	<input type="text" value="CAÑA DE AZUCAR"/>	<input type="text" value="CAÑA DE AZUCAR"/>	<input type="text"/>
Prof (cm):	<input type="text" value="0-20"/>	<input type="text" value="20-40"/>	<input type="text"/>
pH (Rel 1:2):	<input type="text" value="7,0"/>	<input type="text" value="7,2"/>	<input type="text"/>
Cond Eléct (dS/m):	<input type="text" value="0,33"/>	<input type="text" value="0,45"/>	<input type="text"/>
Mat Org (%):	<input type="text" value="3,75"/>	<input type="text" value="2,14"/>	<input type="text"/>
Fósforo (ppm):	<input type="text" value="16"/>	<input type="text" value="13"/>	<input type="text"/>
Potasio (ppm):	<input type="text" value="212,5"/>	<input type="text" value="80"/>	<input type="text"/>
Calcio (ppm):	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Magnesio (ppm):	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Al Inter (meq/100g)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Textura:	<input type="text" value="A"/>	<input type="text" value="A"/>	<input type="text"/>
Arena (%):	<input type="text" value="16,4"/>	<input type="text" value="6,4"/>	<input type="text"/>
Arcilla (%):	<input type="text" value="53,6"/>	<input type="text" value="61,6"/>	<input type="text"/>
Limo (%):	<input type="text" value="30,0"/>	<input type="text" value="32,0"/>	<input type="text"/>

Métodos: pH Potenciométrico, Conductividad Eléctrica: Conductimétrico; Materia Orgánica: Walkley-Black, Fósforo: Olsen o Bray; Potasio, Azúcar de Amonio: Fotometría de Níquel; Calcio y Magnesio: Aretato de Amonio pH; Absorción Atómica; Aluminio Intercambio: KCL IN, Textura Bouyoucos.



Ledc. Ali Cahir
Coordinador de Laboratorio

16/10/2017 09:51:16 a.m.

Carretera Nacional Guanare-Biracay, Víctor Mesa, de Carvajal, 2860000, Guayana, Venezuela. Teléfono: 0257-2568006 - Ext. 1054