

**Análisis de aspectos visuales de características del suelo como
indicador de calidad derivado de actividades del sistema productivo
de caña de azúcar para producción de panela**

Marisol Villarreal Hernández

Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Facultad de Ciencias Naturales e ingeniería

Pregrado de Biología ambiental

Bogotá D.C, Colombia

2021

**Análisis de aspectos visuales de características del suelo como
indicador de calidad derivado de actividades del sistema productivo
de caña de azúcar para producción de panela**

Marisol Villarreal Hernández

Directora

Bellanid Huertas Carranza

Administradora Ambiental

M.Sc. en Estudios y Gestión del desarrollo

Codirector

Luis Alejandro Arias Rodríguez

Ingeniero Agrónomo

M.Sc. en Ciencias Ambientales

Ph.D. en Agroecología

Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Facultad de Ciencias Naturales e ingeniería

Pregrado de Biología ambiental

Bogotá D.C, Colombia

2021

INDICE

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
METODOLOGÍA	8
RESULTADOS	12
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	19
CONCLUSIONES	20
BIBLIOGRAFÍA	20

RESUMEN

El análisis de las características del suelo en zonas agrícolas es una herramienta valiosa para conocer los requerimientos de los cultivos. Por lo anterior, se llevó a cabo un estudio, en los municipios de Nocaima, Nimaima y Quebradanegra del departamento de Cundinamarca, que comparó los resultados obtenidos de métodos visuales de análisis de suelo con los resultados obtenidos en laboratorio para la calidad del suelo de cultivos de caña de azúcar para producción de panela (*Saccharum officinarum*). Para lo anterior, se usaron tres métodos visuales de caracterización del suelo, Munsell, VESS y VSA, siendo estos dos últimos específicos para calidad del suelo y los que se compararon con los resultados obtenidos de los análisis hechos por el laboratorio de suelos de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA.

La comparación de los resultados se realizó con el estadístico Ji cuadrado y los coeficientes de Cramer y Pearson, encontrándose que la mayoría de los suelos presentan coloraciones oscuras que pueden asociarse a la abundante presencia de materia orgánica debida a las altas temperaturas que el suelo puede retener y que favorece la actividad microbiana. En cuanto al método VSA, las características de estabilidad estructural y porosidad, no tiene una correlación con los resultados del laboratorio, mientras que la calidad del suelo, medida con el método VESS, tiene una correlación moderada con los resultados obtenidos del laboratorio, lo que sugiere que este último método podría ser usado por los agricultores como primera medida para la evaluación de los suelos de sus cultivos.

PALABRAS CLAVE: VESS (Visual Evaluation of Soil Structure), VSA (Visual Soil Assessment), calidad del suelo, caracterización visual

ABSTRACT:

The analysis of the characteristics of the soil in agricultural areas is a valuable tool to know the requirements of the crops. Therefore, a study was carried out in the municipalities of Nocaima, Nimaima and Quebradanegra of the department of Cundinamarca, which compared the results obtained from visual soil analysis methods with the results obtained in the laboratory for the quality of the soil of crops. of sugar cane for the production of panela (*Saccharum officinarum*). For this, three visual soil characterization methods were used, Munsell, VESS and VSA, the latter two being specific for soil quality and those that were compared with the results obtained from the analyzes made by the Corporation's soil laboratory. Colombian Agricultural Research, AGROSAVIA. The comparison of the results was made with the Chi-square statistic and the Cramer and Pearson coefficients, finding that most of the soils present dark colorations that can be associated with the abundant presence of organic matter due to the high temperatures that the soil can retain. and that favors microbial activity. Regarding the VSA method, the characteristics of structural stability and porosity do not have a correlation with the results of the laboratory, while the quality of the soil, measured with the VESS method, has a moderate correlation with the results obtained from the laboratory, which suggests that the latter method could be used by farmers as a first measure for evaluating the soils of their crops.

KEY WORDS: VESS (Visual Evaluation of Soil Structure), VSA (Visual Soil Assessment), soil quality, visual characterization

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la agricultura es parte esencial del desarrollo económico del país. La principal cadena de cultivo es la del café, seguida por la de la panela, la cual para el 2020 tenía un área cosechada de 173.793 hectáreas, con una producción nacional total de 1.091.502 toneladas de panela y un rendimiento de 6,28 toneladas de panela por hectárea (Fedepanela, 2020), donde el 50% de su producción se concentra en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Santander (Guerrero y Escobar, 2015). Sin embargo, a pesar de ser un cultivo ampliamente distribuido, su nivel de tecnificación es muy bajo. Esta ineficiencia junto con malas prácticas agrícolas, conlleva a pérdidas energéticas, mal aprovechamiento de los recursos naturales e impactos negativos sobre el ambiente.

El suelo es un recurso natural finito, por lo que los cambios y alteraciones que sufra no son reversibles. Se considera que el suelo es un recurso esencial en el desarrollo de la vida humana, por lo que su uso constante y en muchos casos inadecuado, conlleva a su degradación (FAO, 2015).

Se sabe que dentro de los factores que pueden afectar la calidad del suelo, se encuentran las prácticas agrícolas intensivas que sobre ellos se desarrollan, siendo sus principales consecuencias la erosión y pérdida de fertilidad, la desertificación, la salinización y alcalinización y el mal uso de tierras agrícolas de buena calidad (Rojas e Ibarra, 2003). Por lo anterior, es importante que, en zonas agrícolas, se establezcan monitoreos constantes y evaluaciones periódicas, que permitan determinar el nivel de afectación del suelo y, a partir de allí, definir mecanismos que minimicen el daño.

La evolución del suelo es constante, pero para observar sus cambios se requiere de cientos a miles de años (Cotler *et al.*, 2007). Por lo anterior, para hacer uso del suelo, es necesario conocer las aptitudes del mismo, las cuales varían dependiendo de sus características y las del medio donde se encuentre. La calidad del suelo se define como la capacidad que tiene el suelo de funcionar en un ecosistema y sostener las interacciones que en él se desarrollan (García *et al.*, 2012). Para poder tener en cuenta la calidad de un suelo, es necesario estudiar y describir sus propiedades (Vallejo, 2013) tanto químicas (carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico, pH entre otras) como biológicas (ciclos de nitrógeno y carbono) y físicas (textura, estructura, porosidad, consistencia y color, entre otras). El color, es una de las propiedades más usadas, por su facilidad de estudio y porque a partir de esta se puede inferir información sobre otras propiedades (Bravo *et al.*, 2017).

La caracterización del suelo, por su color, se realiza en campo comparando una muestra del suelo con las cartas de color estándar, siendo la Carta de Color de Munsell la más usada

(Domínguez *et al.*, 2011). La tabla Munsell, está compuesta por hojas que contienen 322 colores estándar, que se describen bajo tres parámetros, el matiz (Hue), que indica la relación entre rojo, amarillo, verde, azul y morado; el value, que indica la claridad u oscuridad con valores entre 1 y 8; y el chroma, que hace referencia a la pureza o intensidad de color (FAO, 2009). Los diferentes rangos de value (Claridad), se muestran en sentido vertical y aumentan su valor, es decir se vuelven más claros, de abajo hacia arriba; mientras que los rangos de chroma se dan horizontalmente y se incrementan de izquierda a derecha (Figura 1) (Domínguez *et al.*, 2011).

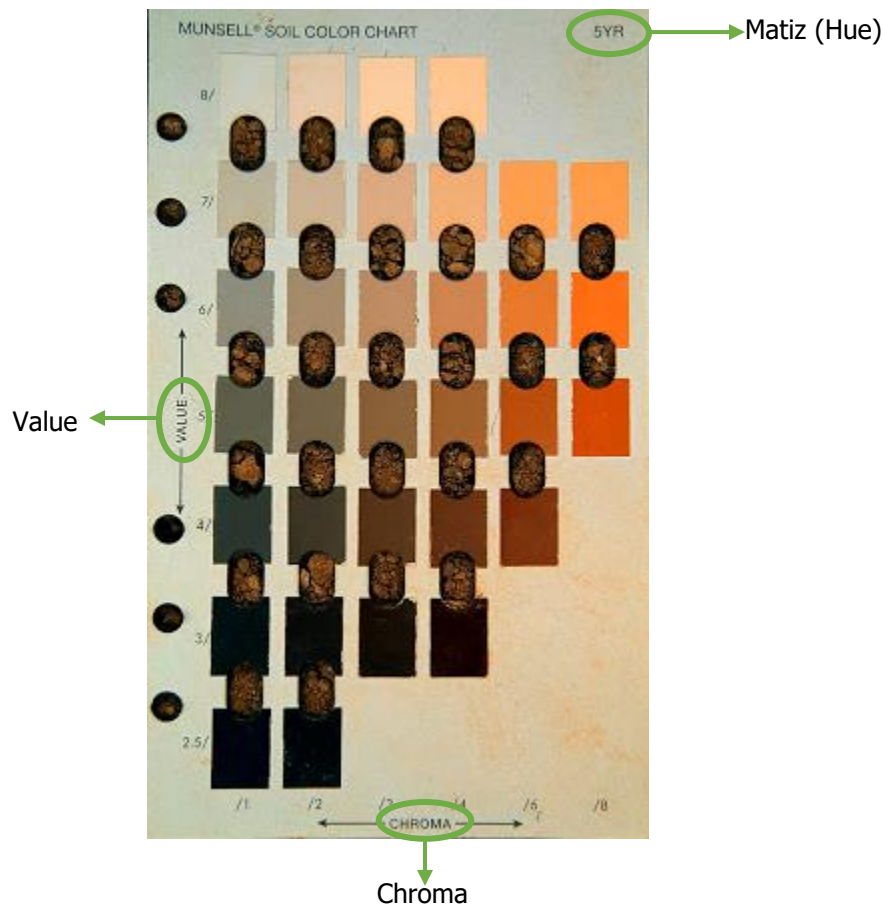


Figura 1. Tabla de color de Munsell

(Tomado de Domínguez *et al.*, 2012)

Por otra parte, existen otros métodos que permiten determinar la calidad del suelo. Dentro de estos, la evaluación visual de la estructura del suelo (VESS, por sus siglas en inglés), hace una diferencia, directa y rápida, de las capas del suelo que poseen estructuras diferentes (Kruger *et al.*, 2018). En este método, se tienen en cuenta varios factores para determinar la calidad estructural del suelo, los cuales son: el tamaño de los agregados, la resistencia de los

agregados, la porosidad, las raíces y el color. Para usar este método, lo que se hace es tomar un fragmento del suelo y romperlo a través de los límites naturales de los agregados; una vez se obtienen los distintos trozos, se observan en ellos las características mencionadas anteriormente dándole una puntuación que varía entre 1, que corresponde a un suelo de buena calidad, y 5, que corresponde a un suelo pobre (Figura 2) (Guimarães *et al.*, 2011).





















Structure quality	Size and appearance of aggregates	Visible porosity and Roots	Appearance after break-up: various soils	Appearance after break-up: same soil different tillage	Distinguishing feature	Appearance and description of natural or reduced fragment of ~ 1.5 cm diameter
Sq1 Friable Aggregates readily crumble with fingers	Mostly < 6 mm after crumbling	Highly porous Roots throughout the soil			 Fine aggregates	 1 cm The action of breaking the block is enough to reveal them. Large aggregates are composed of smaller ones, held by roots.
Sq2 Intact Aggregates easy to break with one hand	A mixture of porous, rounded aggregates from 2 mm –7 cm. No clods present	Most aggregates are porous Roots throughout the soil			 High aggregate porosity	 1 cm Aggregates when obtained are rounded, very fragile, crumble very easily and are highly porous.
Sq3 Firm Most aggregates break with one hand	A mixture of porous aggregates from 2 mm –10 cm; less than 30% are <1 cm. Some angular, non-porous aggregates (clods) may be present	Macropores and cracks present. Porosity and roots both within aggregates.			 Low aggregate porosity	 1 cm Aggregate fragments are fairly easy to obtain. They have few visible pores and are rounded. Roots usually grow through the aggregates.
Sq4 Compact Requires considerable effort to break aggregates with one hand	Mostly large > 10 cm and sub-angular non-porous; horizontal/platy also possible; less than 30% are <7 cm	Few macropores and cracks All roots are clustered in macropores and around aggregates			 Distinct macropores	 1 cm Aggregate fragments are easy to obtain when soil is wet, in cube shapes which are very sharp-edged and show cracks internally.
Sq5 Very compact Difficult to break up	Mostly large > 10 cm, very few < 7 cm, angular and non-porous	Very low porosity. Macropores may be present. May contain anaerobic zones. Few roots, if any, and restricted to cracks			 Grey-blue colour	 1 cm Aggregate fragments are easy to obtain when soil is wet, although considerable force may be needed. No pores or cracks are visible usually.

Figura 2. Descripción de la calidad del suelo, dependiendo de las características de los agregados (Tomado de Guimarães *et al.*, 2011)

Otro de los métodos visuales de calificación del suelo es VSA (visual soil assessment), este método usa los indicadores del suelo para evaluar su calidad, asignando un puntaje visual (VS) de 0 (pobre), 1 (moderado) o 2 (bueno), basado en la calidad del suelo observada al comparar la muestra con tres fotografías en el manual de la guía de campo. Ya que algunos indicadores del suelo son más importantes para la calidad del suelo que otros, éste método proporciona un factor de ponderación de 1, 2 o 3. Dicho factor es multiplicado por el valor del indicador para obtener el valor total de este y con la sumatoria el valor total de la calidad del suelo (Sheperd, 2000).

Por otra parte, existen métodos de evaluación del suelo que analizan propiedades de éste por medio de análisis de laboratorio. Dentro de éstos se encuentran análisis de determinación de la densidad aparente y densidad real. Para la primera, existen métodos como el de volúmen

conocido, en el cual se retira del campo una muestra de suelo de volumen conocido y se seca en el horno a 105°C, hasta que alcanza un peso constante. La densidad aparente se calcula dividiendo el peso seco del suelo por el volumen que ocupaba en el campo (Rubio, 2010). En cuanto a la densidad real, esta se puede hallar usando un picnómetro, el procedimiento corresponde a la aplicación del principio de Arquímedes, es decir, determina qué volumen de líquido desplazan los sólidos al ser sumergidos; teóricamente éste se determina dividiendo el peso de los sólidos de la muestra en el volumen de los sólidos de la muestra (Rubio, 2010). Otra de las propiedades que se pueden analizar en el laboratorio son la estabilidad estructural y la textura. Uno de los métodos para determinar la estabilidad estructural es el método de Yoder, con él se determina el porcentaje de agregados estables al agua al someter las muestras a movimientos ascendentes y descendentes en un agitador mecánico que usa tamices con distintas aperturas de malla (Lobo y Pulido, 2011). En cuanto a la textura, esta puede hallarse por medio del método de Bouyoucos, el cual consiste en dispersar las partículas minerales del suelo mediante una solución y medir indirectamente el porcentaje de cada fracción mediante el densímetro de Bouyoucos. Este método tiene como fundamento la ley de Stokes que relaciona la velocidad de caída de las partículas sólidas esféricas en el seno de un líquido, con su diámetro y la densidad de la suspensión en la que caen (Molera y Llitjos, 1995).

De acuerdo con lo descrito anteriormente, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar la calidad de los suelos en el sistema productivo de caña de azúcar para producción de panela en el departamento de Cundinamarca. Para el desarrollo del objetivo anterior, se plantearon dos objetivos específicos, el primero realizar una evaluación visual de los suelos de cultivos de caña de azúcar para producción de panela del departamento de Cundinamarca; y el segundo comparar los resultados de los métodos visuales con aquellos obtenidos en análisis de laboratorio, para determinar la validez de los métodos visuales en el análisis de suelos.

METODOLOGÍA

Zona de estudio

Se analizaron 17 fincas distribuidas en los municipios de Quebradanegra, Nocaima y Nimaima del departamento de Cundinamarca. Éstas, corresponden al área de estudio del proyecto *“Evaluación de servicios ecosistémicos de soporte, regulación y provisión en paisajes de agricultura familiar panelera, para la gestión territorial, mitigación y adaptación al cambio climático en el departamento de Cundinamarca”*, en el cual se enmarca esta investigación y que fue realizado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria AGROSAVIA, en colaboración con la Universidad Militar Nueva Granada y la Universidad Jorge Tadeo Lozano.

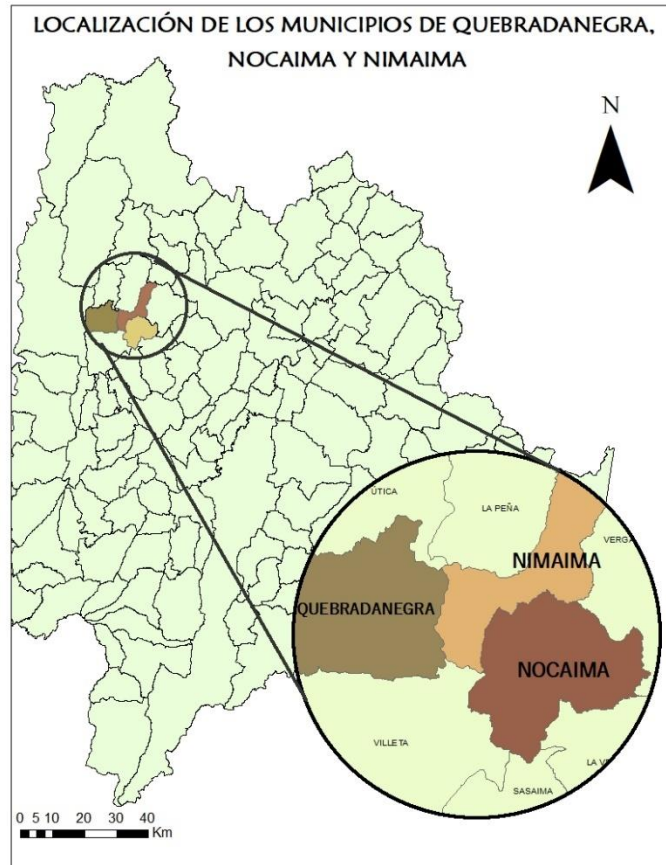


Figura 3. Mapa de la localización de los municipios de Quebradanegra, Nocaima y Nimaima en el departamento de Cundinamarca.

Análisis de suelos: fase de Campo

En cada una de las fincas paneleras se seleccionaron dos parcelas de caña de 25 m², que corresponden a la repetición 1 y 2. En la mitad de la parcela se cavó una cajuela de 70 cm de profundidad, en la cual se realizó el análisis visual de las características del suelo y sus horizontes, con tres métodos diferentes:

1. **Método Munsell:** éste se usó para determinar el color del suelo mediante la comparación de este con las láminas que se encuentran en la tabla Munsell (Figura 1). Una vez se encontraba en la tabla el color que más se asemejaba al de la muestra de suelo, se establecían los valores de Hue, Value y Chroma, con los que se iba a caracterizar posteriormente el suelo (Soil Science Division Staff, 2017). Para realizar un análisis de la calidad de los suelos estudiados y teniendo en cuenta que la textura es importante en la caracterización del suelo, los resultados de este método fueron incorporados a los resultados de laboratorio para la clase textural.
2. **Método VSA** (Sheperd, G, 2000): este método se usó para determinar características del suelo tales como: estructura y consistencia, porosidad, color de la matriz, el

número y color de moteados, conteo de lombrices, compactación, cobertura y profundidad. Este análisis se realizó comparando las muestras de suelo con la guía para el método VSA; para poder realizar esta comparación, se tomó un fragmento de suelo de los primeros 20 cm de la cajuela. Este fragmento era arrojado desde aproximadamente un metro de altura un máximo de 3 veces; a los agregados obtenidos se les comparaba con las fotografías encontradas en la guía para cada uno de los parámetros que evalúa el método.

Una vez realizada la comparación, ésta mostraba la calificación de evaluación del suelo, esta calificación era posteriormente multiplicada por un factor establecido por la guía que variaba dependiendo del parámetro analizado como se muestra en la tabla 1, dando como resultado el valor total de dicho parámetro en el suelo. Al finalizar se obtenían ocho calificaciones que se sumaban para obtener el puntaje total que mostraba el estado del suelo; si se obtenían valores menores de 10 el suelo era pobre, si se obtenían valores entre 10 y 25 el suelo era medio o moderado y si se obtenían valores mayores a 25 el suelo era bueno.

Tabla 1. Valor de los factores de multiplicación por parámetro en el método VSA (Sheperd, G, 2000)

PARÁMETRO	FACTOR
Estructura y consistencia	3
Porosidad	2
Coloración	2
Número y color del moteado	1
Conteo de lombrices	2
Compactación	1
Cobertura	3
Profundidad	3

- Método VESS:** con este método se evaluó la calidad del suelo en relación con las características particulares de cada uno de los horizontes que lo componían, teniendo en cuenta parámetros como la estructura, porosidad y tamaño y apariencia de los agregados.

Como primer paso, se observaba una de las caras de la cajuela y se identificaban los distintos horizontes, midiendo la profundidad de cada uno de ellos. Posteriormente, para realizar el análisis, se tomaba una muestra de cada horizonte y esta era fragmentada manualmente para observar las características de los agregados, comparando la muestra con las imágenes de la guía que determinaban la porosidad, la presencia de raíces y la facilidad de romperse. Por último, se le otorgaba la nota, encontrada en la guía, a cada horizonte. Estas notas individuales eran multiplicadas por la profundidad del horizonte correspondiente y dividida por la profundidad total de la cajuela, los resultados obtenidos eran sumados para así obtener el puntaje general del suelo (SRUC, 2016).

Para facilitar la toma y análisis de los datos, a cada una de las parcelas se le asignó un código único representado así: primero dos letras que diferencian los tres municipios Qn para Quebradanegra, Nc para Nocaima y Nm para Nimaima; posteriormente la letra F seguida del número de la finca y por último si la muestra corresponde a la repetición 1 o 2.

Análisis de suelos: Fase de Laboratorio

En cada finca se recolectaron 5 muestras, una por cada horizonte de la cajuela, de 500 gr de suelo. Éstas eran depositadas en bolsas ziploc, que luego eran marcadas, selladas y guardadas en neveras para su posterior transporte al laboratorio de suelos de AGROSAVIA. Allí se les hicieron análisis físicos, que determinaron la densidad aparente, por el método de anillos con volumen conocido; la densidad real, con el picnómetro; la estabilidad estructural, por el método de Yoder con tamices de 4mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm y 0,25 mm; y la textura, por el método de Bouyoucos. Estos análisis se realizaron con la metodología estandarizada por el mismo laboratorio del año 2021.

COMPARACIÓN DE MÉTODOS

Comparación Métodos Laboratorio-VSA

Los resultados obtenidos en laboratorio, se analizaron para hallar los valores de porosidad y diámetro medio ponderado, los cuales fueron las variables de comparación con los resultados obtenidos en campo.

Para la comparación de los resultados de laboratorio con los del método VSA, en primer lugar, se tomaron los resultados de porosidad hallados en laboratorio y a cada uno de ellos se le asignó una calificación, dada por su valor y el rango en el que se encuentre ese valor. Para los rangos y sus calificaciones, se modificaron los rangos de Jaramillo (2002), de la siguiente manera:

Tabla 2. Calificación del suelo determinada por su porcentaje de porosidad

CALIFICACIÓN	POROSIDAD TOTAL (%)
Muy baja	> 40
Satisfactoria	40 - 55
Excelente	< 55

El otro parámetro que se tuvo en cuenta como variable de comparación fue el de la estabilidad estructural. Con ella, se hallaron los valores de diámetro medio ponderado; a cada uno de estos valores se les otorgó una calificación que dependía del rango en el que se encontrara. Dichos rangos fueron modificados de Jaramillo (2002), de la siguiente manera:

Tabla 3. Calificación del suelo determinada por el valor de su diámetro medio ponderado

CALIFICACIÓN	VALOR DEL DIAMETRO MEDIO PONDERADO
Inestable	<0,5
Moderadamente estable	0,5-3,0
Estable	>3,0

Comparación Métodos Laboratorio- VESS

En cuanto al método VESS, que analiza los horizontes del suelo en general, se realizó una evaluación general del suelo, teniendo en cuenta las características de porosidad y densidad aparente. Para cada una de estas características, se modificaron los rangos de Jaramillo (2002) con una calificación numérica que hace referencia al estado del suelo, siendo la calificación número 5 la peor y la número 1 la mejor, quedando las tablas de rangos así:

Tabla 4. Estado del suelo determinado por su densidad aparente

DENSIDAD APARENTE (g cm³)	CALIFICACIÓN NUMERICA	ESTADO DEL SUELO
> 1.8	5	MUY POBRE
1.6 – 1.8	4	POBRE
1.4 – 1.6	3	MODERADO
1.2 – 1.4	2	BUENO
< 1.2	1	MUY BUENO

Tabla 5. Calificación del suelo determinada por su porcentaje de porosidad

POROSIDAD (%)	CALIFICACIÓN NUMÉRICA	ESTADO DEL SUELO
36-30	5	MUY POBRE
42-36	4	POBRE
48-42	3	MODERADO
54-48	2	BUENO
60-54	1	MUY BUENO

Una vez obtenidos todos los valores para la comparación de los métodos y teniendo en cuenta que las variables son de tipo categórico se realizaron 3 pruebas para determinar la similitud entre los resultados usando el programa R (R Core Team, 2020). En primer lugar, se realizó una prueba de Ji cuadrado, que determinaba si había o no dependencia entre las dos pruebas, posteriormente era precisada con el coeficiente de Pearson y el Coeficiente de Cramer, que son estadísticos basados en ji cuadrado y que determinan la relación estadística entre dos variables categóricas.

RESULTADOS

METODO MUNSELL

En la tabla 2 se muestran los colores obtenidos de los distintos suelos del área de estudio, como se observa, el color más encontrado es gris muy oscuro (“*Very dark gray*”), el cual era el color de 33 de 84 horizontes de suelo analizados; a este le sigue el color negro (“*Black*”) con 19 horizontes y luego gris verdoso oscuro (“*Dark greenish gray*”) y marrón grisáceo muy oscuro (“*Very dark grayish Brown*”) con 6 horizontes cada uno.

Tabla 2. Listado con los colores obtenidos con el método Munsell

Color Inglés	Color español	Número de horizontes
Black	Negro	19
Brown	Marrón	2
Dark bluish gray	Gris azulado oscuro	1
Dark brown	Marrón oscuro	3
Dark gray	Gris oscuro	1
Dark grayish brown	Marrón grisáceo oscuro	2
Dark greenish gray	Gris verdoso oscuro	6
Dark yellowish brown	Marrón amarillento oscuro	1
Greenish black	Negro verdoso	4
Greenish gray.	Gris verdoso	2
Very dark brown	Marrón muy oscuro	2
Very dark gray	Gris muy oscuro	33
Very dark grayish brown	Marrón grisáceo muy oscuro	6
Very dark greenish gray	Gris verdoso muy oscuro	2

Los resultados de las clases texturales hallados en laboratorio (Figura 4), arrojaron que de las 84 muestras el 59,5% tenían una textura arcillosa y el 40,5% restante se dividían en texturas Francoarenosa, Francoarcillosa, Francoarcilloarenosa, Arcillolimsa, Arcilloarenosa, Franca y Francoarcillolimsa.

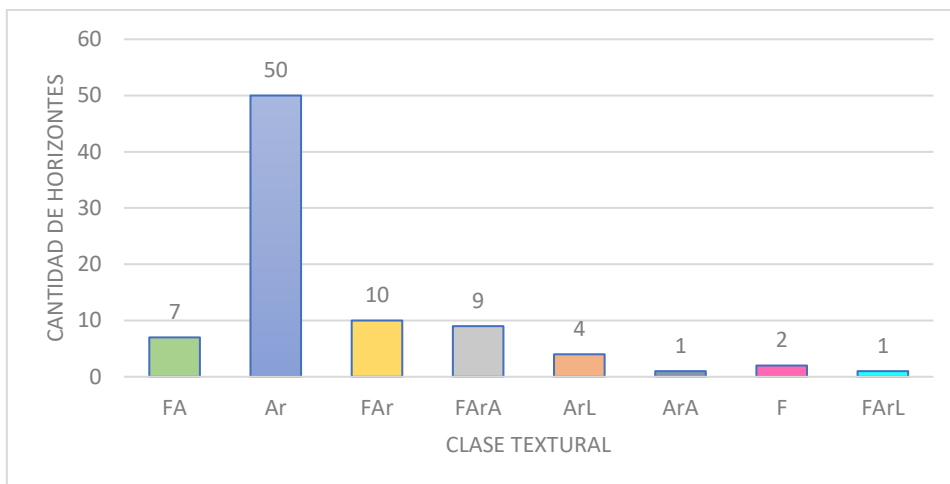


Figura 4. Clases texturales encontradas en los horizontes de los suelos analizados

MÉTODO VSA

Al analizar el suelo por el método visual VSA, se encontró que en el municipio de Quebradanegra de las 12 muestras analizadas, correspondientes a 6 fincas, el 83% presentan un suelo con características moderadas, el 17% tiene características buenas y no hay ninguna que presente suelos malos (Figura 5).

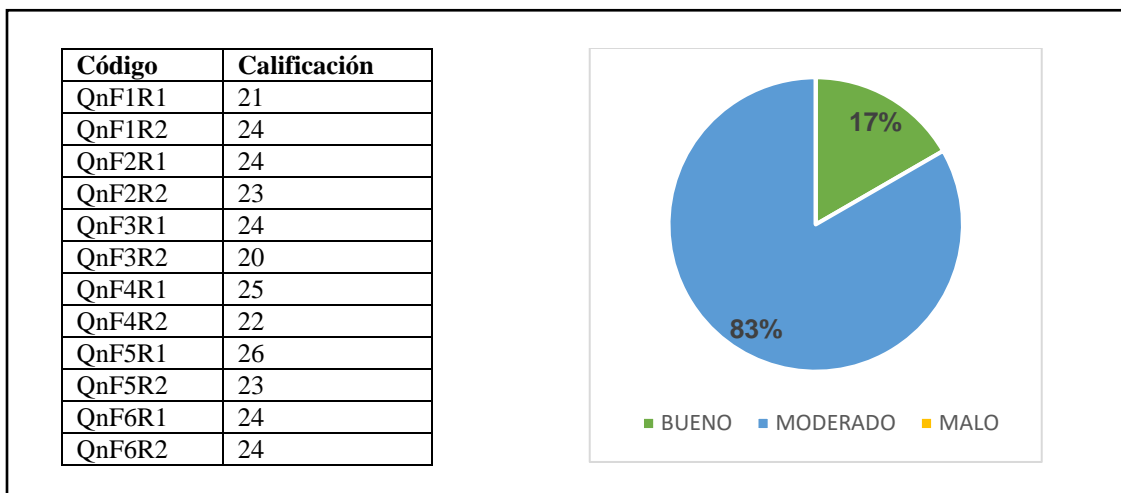


Figura 5. Calificaciones de las 6 fincas de Quebradanegra obtenidas por el método VSA

Por otra parte, los suelos de las 14 muestras, correspondientes a las 7 fincas localizadas en Nocaima, mostraron que 8 poseen suelos moderados, lo que equivale al 57%, mientras que 6, que equivalen al 47%, poseen suelos buenos. Este municipio igual que Quebradanegra no presenta suelos que, bajo este método, sean considerados malos (Figura 6).

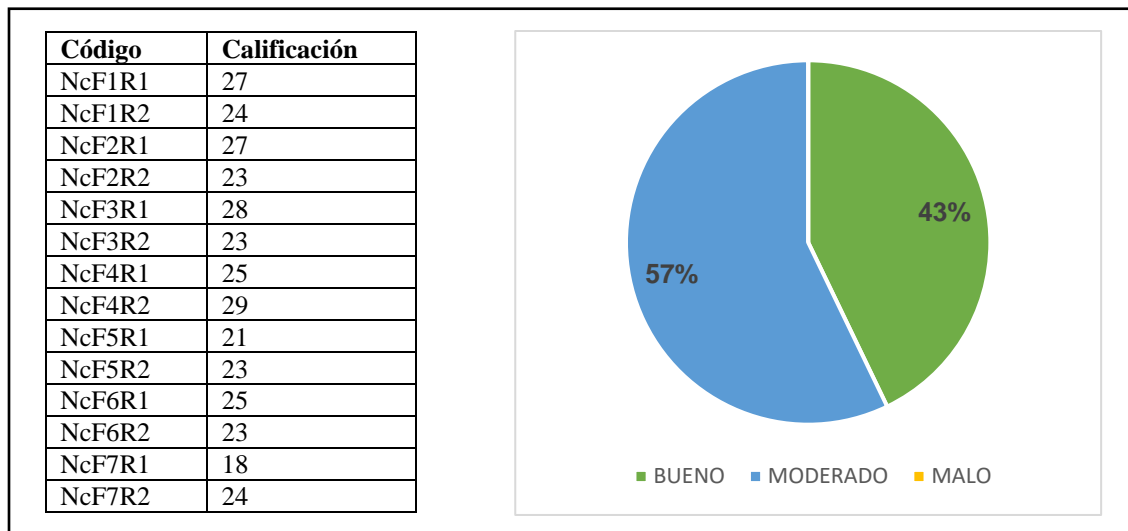


Figura 6. Calificaciones de las 7 fincas de Nocaima obtenidas por el método VSA

Por último, en el municipio de Nimaima se analizaron 4 fincas de las cuales se obtuvo 8 muestras. Con ellas se encontró que el 75% poseen suelos buenos, el 25% suelos moderados y ninguna presentó suelos malos (Figura 7).

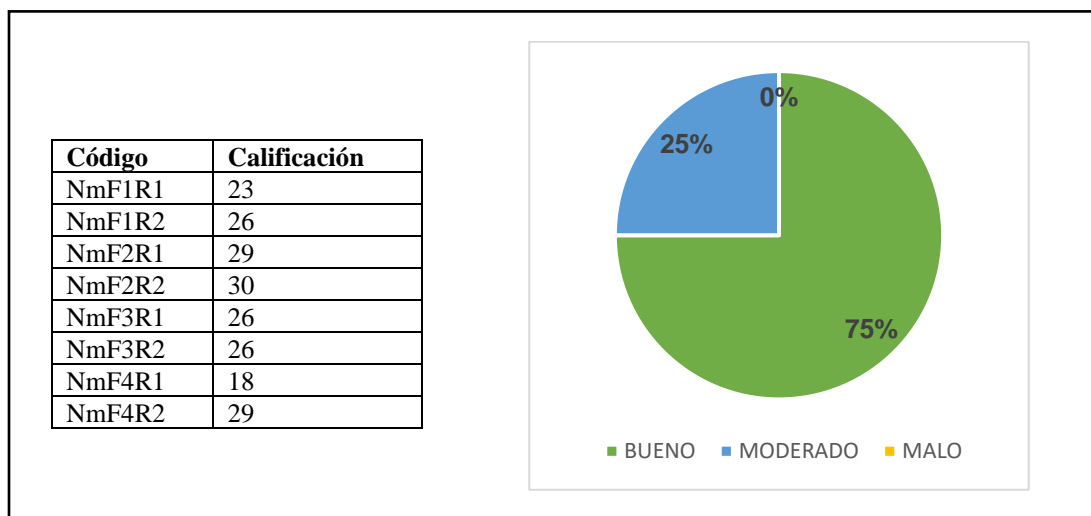


Figura 7. Calificaciones de las 4 fincas de Nimaima obtenidas por el método VSA

Con los resultados obtenidos, se observa que, en los tres municipios analizados, los suelos tienden a tener características que los hacen suelos buenos, de acuerdo con los parámetros del método visual VSA. Lo anterior puede indicar que en dichos suelos buenos, el rendimiento y calidad de las cosechas va a ser alta.

METODO VESS

Al realizar el análisis de la calidad del suelo con el método de VESS, se encontró que en las fincas de Quebradanegra, los suelos tienden a tener características moderadas pues sus valores se encuentran en el rango de 2 a 3, como se muestra en la figura 8.

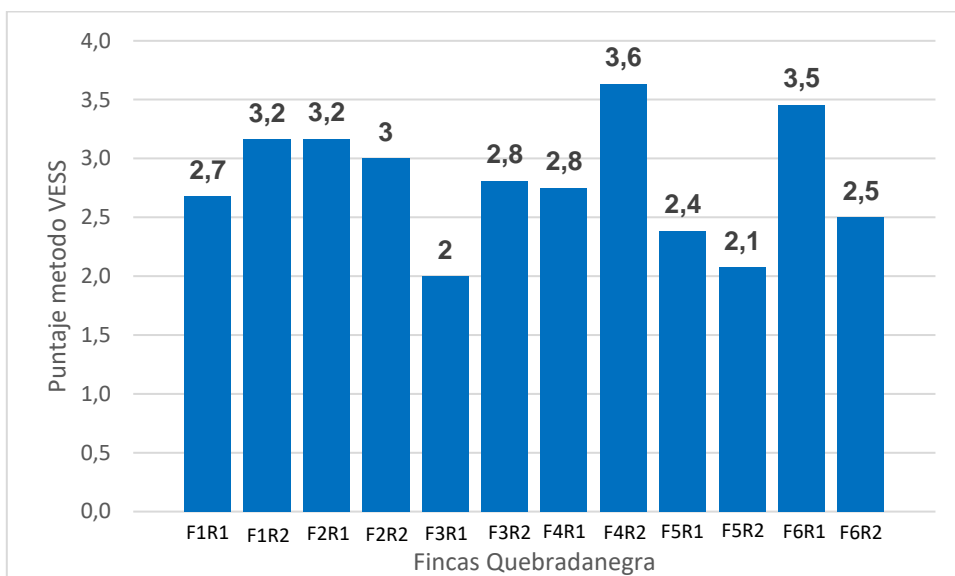


Figura 8. Puntaje del método VESS de las 12 muestras obtenidas en las 6 fincas del municipio de Quebradanegra

En cuanto al municipio de Nocaima, se encontró que solo cuatro de las muestras tienen características acordes con suelos buenos, las diez restantes tienen una calidad de suelo moderada (Figura 9).

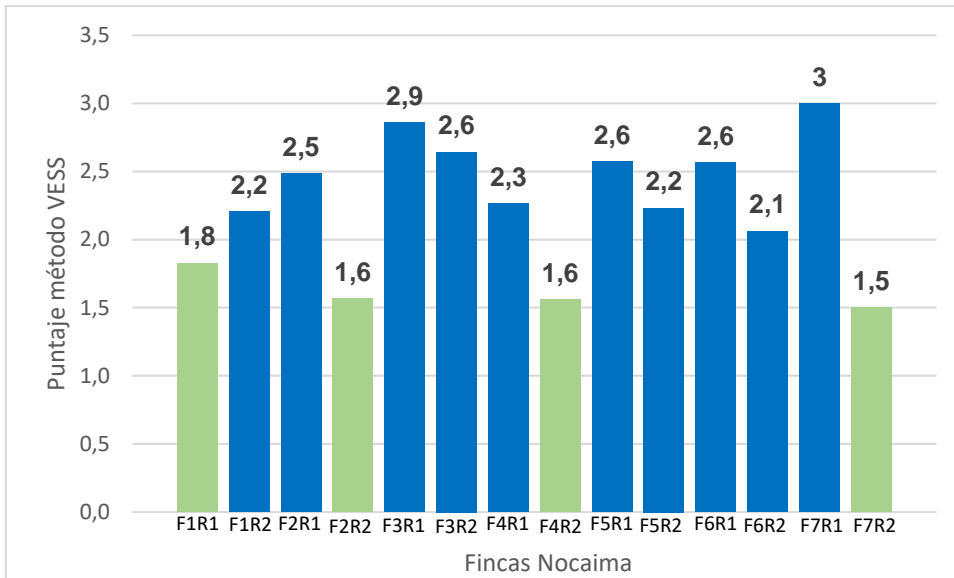


Figura 9. Puntaje del método VESS de las 14 muestras obtenidas en las 7 fincas del municipio de Nocaima

Por último, como se observa en la figura 10, de las ocho muestras analizadas en Nimaima, dos poseen buenos suelos y el resto poseen suelos con características moderadas.

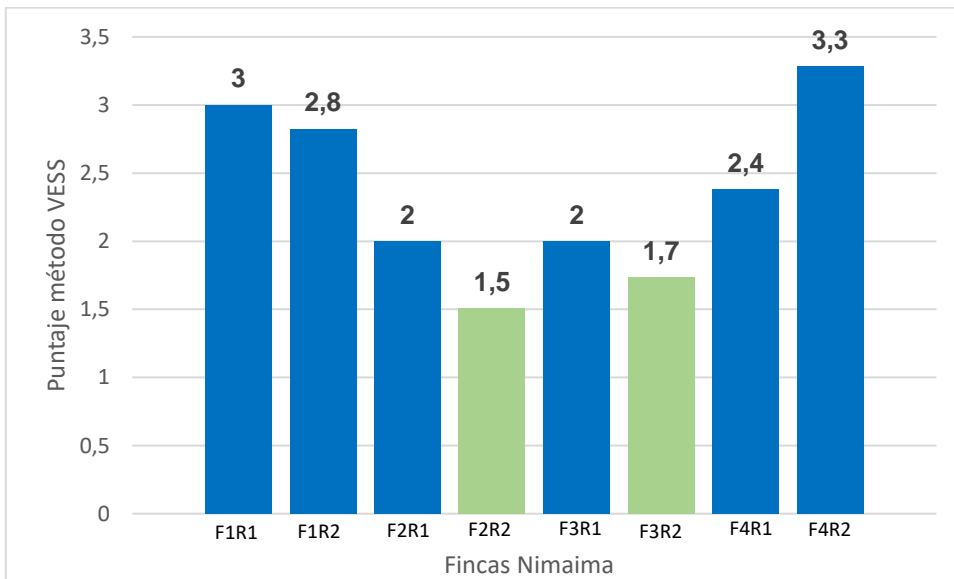


Figura 10. Puntaje del método VESS de las 8 muestras obtenidas en las 4 fincas del municipio de Nimaima

COMPARACIÓN RESULTADOS DE LOS METODOS VISUALES CON LOS RESULTADOS DE LABORATORIO

Para realizar la comparación de los métodos con los resultados obtenidos en laboratorio y así realizar la verificación de la validez de los métodos visuales, se realizaron pruebas de Ji cuadrado y coeficiente de Cramer y Pearson.

Método VSA:

Para validar el método VSA, se evaluaron por separado las características de porosidad y la estabilidad estructural.

En las tablas 3 y 4 se muestran los resultados de las pruebas de Ji cuadrado, coeficiente de Cramer y coeficiente de Pearson para la porosidad y la estabilidad estructural respectivamente.

Tabla 3. Resultados de los estadísticos evaluados para la validación del método VSA en cuanto a la característica de porosidad

Estadístico	Valor	gl	p	Nivel de significancia alfa
Ji Cuadrado Pearson	3,72	4	0,4458	0,05
Ji Cuadrado MV-G2	3,02	4	0,5539	
Coef. Conting. Cramer	0,19			
Kappa (Cohen)	0,11			
Coef.Conting.Pearson	0,31			

Para el análisis de los anteriores datos, se plantearon las siguientes pruebas de hipótesis:

H₀= el método para determinar la porosidad o estabilidad estructural en laboratorio es independiente del método VSA

H_a Existe una dependencia entre el método para determinar la porosidad o estabilidad estructural en laboratorio y el método VSA.

Como se observa en la tabla 3, el p valor (0,4458) es mayor al nivel de significancia alfa, por lo que se acepta la hipótesis nula y se entiende que no existe una relación entre los dos métodos. Este resultado, se valida al observar el valor obtenido del coeficiente de Cramer pues al ser este de 0,19, indica que no existe ninguna correlación de los métodos.

Tabla 4. Resultados de los estadísticos evaluados para la validación del método VSA en cuanto a la característica de estabilidad estructural

Estadístico	Valor	gl	p	Nivel de significancia alfa
Ji Cuadrado Pearson	1,35	1	0,2457	0,05
Ji Cuadrado MV-G2	2,04	1	0,1528	
Coef. Conting. Cramer	0,14			
Kappa (Cohen)	-0,11			
Coef.Conting.Pearson	0,19			

En cuanto al análisis de la estabilidad estructural, el p valor (0,2457) es mayor al nivel de significancia, por lo anterior, se acepta la hipótesis nula pues no existe una dependencia entre los resultados del método visual y el de laboratorio. Este resultado, se valida al observar que el valor obtenido en el coeficiente de Cramer es de 0,14, lo que indica que no existe ninguna correlación de los métodos.

Método VESS:

Para evaluar el método VESS, se evaluaron los resultados de calidad de suelo en general. En la tabla 5 se muestran los valores de Ji cuadrado, coeficiente de Cramer y coeficiente de Pearson para el método VESS.

Tabla 5. Resultados de los estadísticos evaluados para la validación del método VESS

Estadístico	Valor	gl	p	Nivel de significancia alfa
Ji Cuadrado Pearson	10,71	8	0,2185	0,05
Ji Cuadrado MV-G2	9,94	8	0,2691	
Coef. Conting. Cramer	0,31			
Coef. Conting. Pearson	0,48			

A partir de estos datos se quiere saber si hay dependencia entre los dos métodos de evaluación (Laboratorio y VESS) con respecto a la calidad del suelo. Para ello se plantea la siguiente prueba de hipótesis:

H₀= el método para determinar la calidad del suelo en laboratorio es independiente del método VEES.

H_a Existe una dependencia entre el método para determinar la calidad del suelo en laboratorio y el método VEES.

Con la prueba de Ji Cuadrado y teniendo en cuenta que el p valor (0,2185) es mayor al nivel de significancia, se determina que no existe una dependencia entre los métodos de VESS y laboratorio para evaluar la calidad del suelo, por lo que las estimaciones de cada método serán diferentes.

Pese a lo anterior, al realizar la prueba con el coeficiente de Cramer, se encontró que su valor es de 0.31, mostrando que los resultados obtenidos visualmente tienen una relación moderada con aquellos obtenidos en el laboratorio.

En cuanto a la prueba con el coeficiente de Pearson, esta arrojó un valor de 0,48 lo que ratifica una relación moderada entre los dos métodos de evaluación de la calidad del suelo.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El color del suelo es uno de los rasgos más sencillos de determinar, pero que brinda información relevante sobre las características morfológicas del mismo (Domínguez *et al.*, 2012). En cuanto al color de los suelos del presente trabajo, se encontró que el más abundante fue el gris muy oscuro y el negro, por lo que puede decirse que estos suelos poseen una gran cantidad de materia orgánica, la cual les otorga esta coloración oscura; lo anterior se debe a que los suelos de colores oscuros tienden a retener más temperatura, lo que conlleva a que las reacciones químicas y el proceso de descomposición de materia orgánica por parte de los microorganismos sea más rápido y eficiente (Globe, 2005). Además de ayudar con la degradación de materia orgánica, que el suelo retenga la temperatura es importante en cultivos de caña panelera pues este tiene un crecimiento óptimo en el rango de 25°C a 27°C, asimismo las altas temperaturas ayudan al incremento y acumulación de sacarosa en las plantas (Osorio, 2007).

A pesar de que el color del suelo es uno de los criterios visuales dominantes para la diferenciación de suelos, existen ocasiones en la que este no genera información por sí solo, por lo que la textura pasa a ser el componente vital del análisis de suelos Needelman (1999). En cultivos de caña panelera, la textura de suelo más adecuada para un buen rendimiento es la Franca o Franca arcillosa. Pese a lo anterior, en este estudio se encontró que de las 84 muestras solo 12 poseen esta clase textural, siendo la arcillosa la textura más encontrada; conforme a esto, es probable que los suelos con esta textura tengan un drenaje natural pobre, lo que disminuye la calidad del suelo para cultivo, siendo necesario que se construyan drenajes antes de la siembra (Manrique, 2000).

La calidad del suelo ha sido ampliamente relacionada con su capacidad para funcionar, es decir, con su utilidad y salud dentro de un sistema (Bautista *et al.*, 2004) De acuerdo con Ferreras (2009), establecer la calidad de un suelo que tiene fines agrícolas, es importante porque permite mantener alta la productividad con un mínimo disturbio ambiental. Los cultivos de caña de azúcar para producción de panela requieren de un adecuamiento inicial del terreno, el cual comienza con la eliminación del rastrojo que se encuentra en el área del cultivo, se sigue con la preparación manual del suelo, la cual comúnmente se hace con azadón, y por último el surcado para la siembra de las semillas (Osorio, 2007). Dado que las adecuaciones de suelo, antes enunciadas, van encaminadas netamente al mejoramiento del lote y no al estudio de las falencias y requerimientos del suelo, junto con que en los tres municipios donde se realizó esta investigación los suelos tienden a tener una capacidad productiva limitada debido a su pendiente, su profundidad y erosión; el desarrollo de un método que le permita a los agricultores tener un análisis inicial de las características de su suelo es de suma importancia.

Si se observan los resultados obtenidos, de los métodos VESS y VSA, de la calidad de los suelos analizados, las fincas poseen suelos de una calidad media o moderada y las restantes poseen una calidad buena. Por consiguiente, es de esperarse que los cultivos que se encuentren en estos suelos posean una tasa de rendimiento alta ya que el sustrato donde se encuentran es capaz de suministrar nutrientes y una buena base para el crecimiento y maduración de los cultivos (Kruger *et al.*, 2018).

Pese a lo anterior, al analizar los resultados obtenidos de los estadísticos aplicados en la comparación de los métodos visuales con los resultados del laboratorio, se observa que para el método VSA no existe relación alguna entre los dos sistemas de análisis, por lo que los resultados obtenidos con este método requieren estudios posteriores. Lo anterior se debe a que para desarrollar el método VSA correctamente es necesario tener conocimiento del historial de la zona de cultivo, haber realizado

caracterizaciones visuales previas y tener descripciones de los resultados obtenidos para así poder realizar una comparación de las características en los dos tiempos (Shepherd, 2000). Ya que en las zonas donde se desarrolló el trabajo no se han implementado caracterizaciones visuales de los suelos, no se tienen registros de las propiedades que analiza el método, siendo esto un limitante para su implementación completa.

Por otra parte, los resultados de los estadísticos en el método VESS, muestran que existe una correlación moderada entre los análisis de campo y los de laboratorio, por lo que se entiende que esta herramienta puede ser usada por los agricultores para tener un conocimiento inicial de la calidad del suelo en el que cultivan.

Si bien la caracterización visual del suelo es una herramienta versátil, los métodos convencionales para hacerlo requieren de conocimientos específicos y un largo tiempo en campo (Guimarães *et al*, 2013). Por lo anterior, el poder usar un método como VESS que es más sencillo para los agricultores, que lleva menos tiempo y cuyos resultados son precisos, se convierte en una importante herramienta para una caracterización inicial de los suelos de cultivos de caña panelera, su monitoreo y mantenimiento.

CONCLUSIONES

- La mayoría de los suelos analizados poseen coloraciones oscuras, lo que muestra que poseen una alta cantidad de materia orgánica, la cual es importante para la evaluación de calidad de suelo. Sin embargo, más de la mitad de los suelos tienen una clase textural arcillosa, lo que ocasiona que tengan un drenaje natural pobre y que la calidad de estos se vea disminuida.
- El método VESS es una herramienta sencilla y de resultados aceptables para la caracterización visual del suelo, pues estos son similares a los conseguidos con métodos de laboratorio, por lo que, los agricultores de la zona de estudio podrían usarlo como método inicial de evaluación de sus cultivos.
- A pesar de que los resultados del método VSA no pudieron compararse con registros anteriores de las características de los suelos estudiados, este trabajo corresponde al primer registro para futuras investigaciones sobre este método.

BIBLIOGRAFIA

Bautista A., Etchevers, J., del Castillo, R., Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13 (2): 90-97.

Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., Tuniesky, E., Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 37 (2), 247-264.

<http://dx.doi.org/10.5209/AGUC.57725>

- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica* 83, 5-71.
- Domínguez, J., Román, A., Prieto, F., Acevedo, O. (2011). Evaluación de color en suelos del Cerro de Denganthza, municipio de Francisco I. Madero, Hidalgo. *Acta universitaria* 21 (4), 92-100.
- Domínguez, J., Román, A., Prieto, F., Acevedo, O. (2012). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3 (1), 141-155
- Fedepanela. (2020). Áreas, rendimiento y producción proyección para 2020. http://www.sipa.org.co/wp/wp-content/uploads/CIFRAS_2020_FEDEPANELA.pdf
- Ferreras, L., Toresani, S., Fernandez, E., Bacigaluppo, S., Bonel, B., Faggioli, V. Beltrám, C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad de suelo en diferentes manejos. *CI. Suelo (Argentina)* 27(1): 103-114.
- García, Y., Ramírez, W., Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes* 35 (2), 125-138.
- Globe, (2005). Protocolo de Temperatura del Suelo. <https://cutt.ly/OTV9LZJ>
- Guimarães, R., Ball, B., Tormena, C. (2011). Improvements in the visual evaluation of soil structure. *Soil Use and Management* 27, 395- 403. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00354.x>
- Guimarães, R., Ball, B., Tormena, C., Balarezo, N., Silva, A. (2013). Relating visual evaluation of soil structure to other physical properties in soils of contrasting texture and management. *Soil & Tillage Research* 127, 92–99
- Guerrero, M., Escobar, J. (2017). Eficiencia técnica de la producción de panela. *Revista de Tecnología* 14 (1), 107-116
- Kruger, I., Rodrigues, C., Bamberg, A., Guimarães, R., Mansonia, P. (2018). Visual Evaluation of the Soil Structure under Different Management Systems in Lowlands in Southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (42).
- Lobo, D., Pulido, M. (2011). Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos. *Revista Universidad Central de Venezuela* 14:22-37.
- Manrique, R. (2000). Suelo, nutrición y fertilización de la caña de azúcar para panela. *Manual de caña de azúcar para la elaboración de panela. CORPOICA-SIMPA. Barbosa, Santander.*

Molera, J., Llitjós, A. (1995). Estudio de cuatro adaptaciones escolares de métodos de observación y determinación de la textura del suelo. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra 3.1, 34-39

Needelman, B., Wander, M., Bollero, G., Boast, C., Sims, G., Bullock D. (1999). Interaction of Tillage and Soil Texture: Biologically Active Soil Organic Matter in Illinois. Soil Sci. Soc. Am. J. 63:1326–1334.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). Guía para la descripción de suelos. Roma, Italia.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). El suelo es un recurso no renovable: su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible.

Osorio, G. (2007). Buenas prácticas agrícolas (BPA) y buenas prácticas de manufactura (BPM) en la producción de caña y panela. (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria . CORPOICA, Ed.) (1° Edición). Medellín: Organización de las Naciones Unidas

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Rojas, A., Ibarra, J. (2003). La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. Revista Población y Desarrollo 25, 5-10

Rubio, A. (2010). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales. Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícola. Universidad de Sevilla.

Scotland's Rural College. (2016). Visual Evaluation of Soil Structure (VESS) for Soil Health. <https://cutt.ly/iTVH8Jm>

Shepherd, G. (2000). VISUAL SOIL ASSESSMENT Volume 1: Field guide for cropping & pastoral grazing on flat to rolling country. Horizons.mw & Landcare Research, Palmerston North. 84p

Soil Science Division Staff. (2017). C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). Soil survey manual. Chapter 3: Examination and Description of Soil Profiles. USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.

Vallejo, V. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. Colombia Forestal 16 (1), 83-99.