



**CONSTRUCCION DE UN INDICADOR DE
CARGA ORGANICA, EN SUELOS
ASOCIADOS A INDICADORES DE
CALIDAD AMBIENTAL EN UN CULTIVO
EN LA VEREDA CURUBITAL,
LOCALIDAD DE USME- BOGOTA, ABRIL
- AGOSTO**

MANUEL ALEJANDRO BUITRAGO PIZA.

Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales - ECCI.

Facultad de Ingeniería, Coordinación de Ingeniería Ambiental.

Bogotá, Colombia.

2016.

**CONSTRUCCION DE UN INDICADOR DE
CARGA ORGANICA, EN SUELOS
ASOCIADOS A INDICADORES DE
CALIDAD AMBIENTAL EN UN CULTIVO
EN LA VEREDA CURUBITAL,
LOCALIDAD DE USME- BOGOTA, ABRIL
– AGOSTO**

MANUEL ALEJANDRO BUITRAGO PIZA.

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Director:

Msc. Andrés Felipe Molano Guarín

Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales - ECCI.

Facultad de Ingeniería, Coordinación de Ingeniería Ambiental.

Bogotá, Colombia.

2016.

Dedicatoria:

A Dios que me brinda las capacidades para realizar todo lo propuesto y me brinda el apoyo de las personas adecuadas para terminar este proceso;

A mi Padre que pese a su ausencia física, siempre me acompañó a lo largo de este camino y siempre estuvo conmigo en mi corazón;

A mi Madre por su constante amor, esfuerzo, dedicación, esmero y cuidado. Por sus consejos, valores e incondicional que me forjaron como persona y profesional;

A mi amada Vanessa León, quien me apoyó y alentó para continuar, cuando parecía que me iba a rendir;

A mis Hermanos, Docentes y Compañeros ya que nunca desistieron al enseñarme, que aun a pesar de las adversidades pusieron sus esperanzas en mí.

“Estudia las frases que parecen ciertas y ponlas en duda”

David Riesman

Agradecimientos

En primer lugar Dios por las capacidades brindadas;

A mi familia por el constante apoyo que me han brindado, por ser los acompañantes en este camino, que muchas veces presento obstáculos.

A la Universidad ECCI por permitirme usar sus instalaciones físicas para la adquisición de conocimiento, y agradezco al Vicerrector de Investigación Msc. Emeterio Cruz Salazar por su acompañamiento.

A mi director de proyecto Msc. Andrés Felipe Molano Guarín por su apoyo y por sus enseñanzas impartidas mediante el desarrollo de este proyecto, por su acompañamiento en los laboratorios, al igual que su gestión para el uso del mismo y también a la docente Msc. Silvia Narváez por realizar su acompañamiento y su tiempo para este proyecto.

Al señor Luis Pacheco y Familia, por su colaboración al momento de ingresar a su propiedad y por brindarme el acceso a las muestras de suelo que permitieron el desarrollo de este proyecto y por su gran amabilidad y cordialidad conmigo.

Al Msc. Alejandro Moreno Andrade, Decano (e) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad ECCI, por su buena gestión al frente del programa, por ser una gran persona y profesional, por su apoyo incondicional hacia los estudiantes de este programa.

A todos mis docentes por los valiosos conocimientos y enseñanzas transmitidas a lo largo de mi proceso académico y de adquisición de conocimientos en esta universidad.

Resumen

En el presente trabajo se realizó una identificación de las condiciones biofísicas del área de recolección de las muestras para conocer las condiciones de formación del suelo. Para esto se tomaron diferentes muestras provenientes de dos condiciones de suelo diferentes, el primero que presenta una intervención humana (cultivo) y el segundo que no posee una intervención para que funcionara como punto de comparación del cambio en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Luego de esto, se pasó al laboratorio a realizar los métodos de identificación de las propiedades que presentaban las diferentes muestras, donde gracias a la bibliografía recolectada se logró completar los datos faltantes para realizar la evaluación de los laboratorios, con el propósito de determinar el porcentaje de calidad ambiental del suelo, con los indicadores propuestos por la USDA. Como resultado de estos procesos se logró obtener la información necesaria para establecer un indicador de carga orgánica basado en las propiedades físicas, tales como el Color y la Textura, y químicas con el porcentaje de Carbón Orgánico.

Palabras clave: Suelo, indicador, calidad del suelo, propiedades físicas, propiedades químicas y propiedades biológicas, carga orgánica.

Abstract

In the following project, it was done an identification about the biophysical conditions from a specific sample area selected for this investigation, in order to know the soil formation's status. With this purpose, it was taken different samples from two types of soil condition, the first one with human intervention (crop) and the second one without any human intervention with the purpose of putting it as a reference point to compare the physical, chemical, and biological changes from one to the other. After that, in the laboratory, each sample went through of identification methods to achieve its properties. Thanks to the collected bibliography some missing data was taken from there, in orden to appraisal the laboratory results to know the quality soil status based on the environmental indicators of soil quality, proposed by USDA. As a result, it was found the necessary information to propose an organic percent indicator based on the physical properties like colour and texture, and chemistry properties taking into account CO percent.

Key words: Soil, indicator, quality of the soil, physical properties, chemical properties and biological properties, organic load.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	5
Abstract.....	6
Introducción.....	13
1. Problema de Investigación.....	14
1.1 Formulación del Problema.....	16
2. Objetivos de la Investigación.....	19
2.1 Objetivo General.....	19
2.2 Objetivos Específicos.....	19
3. Justificación y Delimitación de la Investigación.....	20
3.1 Justificación.....	20
3.2 Delimitación.....	21
3.3 Marco Teórico.....	25
3.4 Marco Conceptual.....	28
3.4.1 Salud del Suelo.....	28
3.4.2 Calidad del suelo.....	28
3.4.3 Contaminación del Suelo.....	29
3.4.4 Indicadores de Calidad Ambiental del Suelo.....	29
3.5 Marco Legal.....	31
3.6 Marco Histórico.....	35
4. Tipo de Investigación.....	41
5. Diseño Metodológico.....	42
5.1 Fuentes Primarias.....	43
5.2 Fuentes Secundarias.....	43
5.3 Planeación y Elaboración del Diseño Metodológico.....	44
5.3.1 Factores Principales y Consideraciones Generales.....	45
5.3.2 Conjunto Mínimo de Datos e Indicadores.....	47
5.3.3 Metodología del Indicador.....	48
5.3.4 Área de muestreo.....	49
5.3.4.1 Recolección de muestra.....	50
5.3.5 Aspectos Relacionados con la obtención de datos.....	55
5.3.6 Determinación de las Propiedades Físicas.....	56

5.3.7	Determinación de las Propiedades Químicas	56
5.3.8	Determinación de las Propiedades Biológicas.....	57
5.4	Ejecución del Diseño Metodológico.....	57
5.4.1	Procedimiento.....	58
5.4.1.1	Propiedades físicas.....	58
5.4.1.1.1	Color.....	58
5.4.1.1.2	Textura.....	59
5.4.1.1.3	Porosidad.....	60
5.4.1.1.4	Densidad Aparente	61
5.4.1.1.5	Granulometría.....	62
5.4.1.2	Propiedades Químicas.....	62
5.4.1.2.1	pH.....	62
5.4.1.2.2	% Carbón Orgánico.....	63
5.4.1.2.3	Acidez Aluminio.....	64
5.4.1.3	Propiedades Biológicas.....	65
5.4.1.3.1	Procedimiento para la determinación de Heterótrofos.....	65
6.	Resultados	68
6.1	Análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio.....	69
6.1.1	Lectura de las Muestras.....	69
6.1.1.1	Color.....	69
6.1.1.2	Textura.....	74
6.1.1.3	Porosidad.....	77
6.1.1.4	Densidad Aparente.....	81
6.1.1.5	Granulometría.....	84
6.1.1.6	pH.....	87
6.1.1.7	% Carbón Orgánico.....	91
6.1.1.8	Acidez Aluminio.....	96
6.1.1.9	Heterótrofos.....	100
6.2	Evaluación de Calidad Ambiental.....	104
6.3	Contaminación Orgánica.....	110
6.4	Indicador de Carga Orgánica.....	114
7.	Conclusiones y Recomendaciones	123
8.	Referencias	127

Lista de Figuras e Ilustraciones.

	Pág.
<i>Figura 1. Programa de análisis nacional e inventario forestal</i>	37
<i>Figura 2. Ejemplo del modelo FPEIR aplicado al recurso suelo</i>	39
<i>Figura 3. Diseño Metodológico Propuesto para el Desarrollo del Proyecto de Investigación</i>	42
<i>Figura 4. Metodología del indicador</i>	48
<i>Figura 5. Tablas Munsell</i>	59
<i>Figura 6. Descripción del color</i>	71
<i>Figura 7. Composición del Suelo</i>	78
<i>Figura 8. Esquema de Espacio Poroso</i>	79
<i>Figura 9. Grafica Granulométrica Muestra</i>	85
<i>Figura 10. Gráfica Granulométrica Control</i>	86
<i>Figura 11. Disponibilidad de Nutrientes segun pH</i>	89
<i>Figura 12. Contenido de carbono orgánico en las muestras</i>	92
<i>Figura 13. Componentes de la materia orgánica</i>	94
<i>Figura 14. Componentes del humus del suelo</i>	95
<i>Figura 15. Efectos de la contaminación agrícola</i>	111
<i>Figura 16. Gráfico de los Residuales X1</i>	118
<i>Figura 17. Gráfico de los Residuales X2</i>	119
<i>Figura 18. Gráfico de los Residuales X3</i>	119
<i>Figura 19. Gráfico de probabilidad normal</i>	119
<i>Figura 20, Curva de Regresión ajustada X1</i>	120
<i>Figura 21. Curva de Regresión ajustada X2</i>	120
<i>Figura 22. Curva de Regresión ajustada X3</i>	120
<i>Ilustración 1. Localidad de Usme</i>	21
<i>Ilustración 2. Clasificación del suelo localidad de Usme</i>	23
<i>Ilustración 3. Veredas de la localidad de Usme</i>	24
<i>Ilustración 4. Georreferenciación de la vereda Curubital</i>	27
<i>Ilustración 5. Ubicación de muestreo</i>	50
<i>Ilustración 6. Área de Cultivo (Muestra)</i>	51
<i>Ilustración 7. Área de muestreo (Control)</i>	51
<i>Ilustración 8. Identificación de puntos de muestro</i>	53
<i>Ilustración 9. Área de muestro</i>	53
<i>Ilustración 10. Metodología de Zig-Zag</i>	54
<i>Ilustración 11. Limpieza del Terreno</i>	54

<i>Ilustración 12. Recolección de muestras.....</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 13. Representación del matiz, muestra.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 14. Representación del matiz, control.....</i>	<i>70</i>
<i>Ilustración 15. Cajas de Petri cultivadas.....</i>	<i>101</i>
<i>Ilustración 16. Conteo de UFC e Identificación de Morfotipos.....</i>	<i>102</i>

Lista de tablas y Ecuaciones

	Pág.
<i>Tabla 1. Normas relacionadas con participación ciudadana en aspectos del uso del suelo</i>	35
<i>Tabla 2. Ejemplo de Indicadores Cuantitativos</i>	46
<i>Tabla 3. Ejemplo de conjunto mínimo de datos de indicadores de calidad del suelo</i>	47
<i>Tabla 4. Coordinadas toma de muestras</i>	49
<i>Tabla 5. Determinación de propiedades en suelo</i>	57
<i>Tabla 6. Factores de corrección en base de la temperatura de suspensión</i>	60
<i>Tabla 7. Relación entre la DA (g/cm³) y porosidad (%)</i>	61
<i>Tabla 8. Clases texturales y densidad aparente (g/cm³)</i>	62
<i>Tabla 9. Estimación del contenido de materia orgánica basado en el color del suelo tabla Munsell</i>	64
<i>Tabla 10. Clases Texturales</i>	65
<i>Tabla 11. Color de la muestra de suelo</i>	70
<i>Tabla 12. Color del Control del Suelo</i>	70
<i>Tabla 13. Propiedades Goethita</i>	74
<i>Tabla 14. Textura de las muestras</i>	74
<i>Tabla 15. Zona de Enraizamiento Efectivo</i>	76
<i>Tabla 16. Relación entre Densidad Aparente y Porosidad</i>	82
<i>Tabla 17. Determinación de DA por medio de Textura</i>	82
<i>Tabla 18. Densidad de algunos minerales comunes en el suelo</i>	83
<i>Tabla 19. Resultados del tamizaje</i>	84
<i>Tabla 20. Porcentaje Retenido Muestra</i>	84
<i>Tabla 21. Porcentaje Retenido Control</i>	85
<i>Tabla 22. Dimensión de partículas Elementales</i>	86
<i>Tabla 23. Datos de pH obtenidos</i>	88
<i>Tabla 24. Clasificación del pH en suelos</i>	88
<i>Tabla 25. Criterios de evaluación de un suelo con respecto a su pH</i>	90
<i>Tabla 26. Datos obtenidos para Acidez Al</i>	96
<i>Tabla 27. Valores de Al intercambiable en algunos suelos de la zona cafetera</i>	98
<i>Tabla 28. Niveles críticos y sensibilidad de las plantas al aluminio del suelo</i>	99
<i>Tabla 29. Resultado de Heterótrofos</i>	100
<i>Tabla 30. Valores normalmente observados en diferentes suelos y abonos orgánicos</i>	102
<i>Tabla 31. Criterios de Calidad Color</i>	105
<i>Tabla 32. Criterios de Calidad Textura</i>	105
<i>Tabla 33. Criterios de Calidad Porosidad</i>	106
<i>Tabla 34. Criterios de Calidad Densidad</i>	106
<i>Tabla 35. Criterios de Calidad Granulometría</i>	106

Tabla 36. Criterios de Calidad pH.....	106
Tabla 37. Criterios de Calidad Aluminio.....	107
Tabla 38. Criterios de Calidad % CO.....	107
Tabla 39. Criterios de Calidad Biológicas.....	107
Tabla 40. Indicador de salud del suelo muestra	108
Tabla 41. Indicador de salud del suelo control	109
Tabla 42. Consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelos	113
Tabla 43. Niveles de materia orgánica en suelos	114
Tabla 44. Materia orgánica en suelos nativos y cultivados (%).....	115
Tabla 45. Valores seleccionados para modelos de regresión múltiple	116
Tabla 46. Estadística de la Regresión	117
Tabla 47. Análisis de la Varianza	117
Tabla 48. Coeficientes.....	117
Tabla 49. Análisis de los residuales.....	118
Tabla 50. Resultados de datos de probabilidad.....	118
Tabla 51. Resumen de la Varianza.....	121
Tabla 52. Análisis de la Varianza	121

Ecuación 1. Retención en el tamiz %.....	84
Ecuación 2. Porcentaje que pasa en el tamiz.....	84
Ecuación 3. Determinación de Acidez Aluminio.....	96
Ecuación 4. Acidez Aluminio de Muestra	97
Ecuación 5. Acidez Aluminio de Control.....	97
Ecuación 6. % de MO con relación al %CO.....	116
Ecuación 7. Modelo de regresión lineal múltiple	122
Ecuación 8. Modelo de Regresión.....	122
Ecuación 9. Ejemplo de Modelo	122

Introducción

Aunque ha incrementado la preocupación a nivel mundial a consecuencia del aumento de la explotación del suelo debido a un exceso de uso, ya sea por el uso minero, uso agrícola, uso ganadero, uso de disposición final para residuos, ya sean ordinarios o peligrosos, por lo cual se ha generado afectación en la calidad de los suelos, y ha tenido afectación en el desarrollo tanto para el hombre como para el ambiente.

Estos usos sin control han generado diversas situaciones que impactan de manera negativa alterando las propiedades de los suelos entre las que tenemos las físicas, químicas y biológicas, cambiando las propiedades del suelo presentaremos un desequilibrio de este recurso, por lo que estaremos alterando la producción de biomasa, también presentaremos consecuencias en los ecosistemas y no tendrá la suficiente capacidad para soportar esta perturbación (Mataix, 2009).

Lo anterior permite reconocer entonces que el suelo es la parte superior de la corteza terrestre, que está formado por partículas de minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos, por lo que podemos reconocer que es un recursos extremadamente complejo, con gran variabilidad y como un medio donde se genera la vida. Debido que el tiempo necesario para la formación del suelo es demasiado lento, se ha catalogado como un recurso no renovable.

Todas estas condiciones nos llevan a establecer la necesidad de emplear nuevas estrategias, herramientas y metodologías, como lo es un indicador que permita evaluar los cambios de la calidad del suelo que se presentan por las anteriores alteraciones.

Con el presente proyecto se plantea la construcción de un indicador de carga orgánica frente a los indicadores de calidad ambiental en un suelo de uso agrícola, con base en propiedades físicas y químicas para la obtención del producto deseado.

1. Problema de Investigación.

El desarrollo de las poblaciones se ha desarrollado sobre un recurso tan importante y fundamental como lo es suelo, lamentablemente este recurso no ha sido tratado y trabajado de la mejor manera, ya que el hombre ha acelerado su degradación y por tanto ha puesto en peligro el futuro de este recurso y de paso el del ser humano mismo. Es por esto que Bautista; Etchevers; Del Castillo; Gutiérrez (2004) hablan sobre el desafío que se tiene para recuperar la calidad del suelo:

“Los científicos se enfrentan al triple desafío de intensificar, preservar e incrementar la calidad del suelo. Para ello, es necesario contar con una sólida concepción de la calidad y con indicadores de calidad o salud de la tierra y de manejo sostenible de la misma, tal cual como se cuenta para dar seguimiento a variables sociales y económicas.” (Bautista Cruz, Etchevers Barra, del Castillo, & Gutiérrez, 2004)

Es importante decir que el suelo es un factor natural que se encuentra y hace parte de nuestro medio por lo cual es considerado como prístino, se puede observar como en el mundo, especialmente en Colombia, se le ha dado un uso excesivo y desmedido por parte de los habitantes por lo cual ha hecho que se modifique propiedades tanto físicas, químicas y biológicas. (García & Dorronsoro, 2000). Es por eso que esta situación crea la necesidad de generar un indicador de evaluación como lo menciona (Cantu, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007): “Como podemos evidenciar el avance de la agricultura en nuestro país, hace que se necesario la realización de indicadores para la evaluación del estado del suelo”. (Cantu, Becker, Bedano, & Schiavo, 2007)

Esta modificación del suelo se le debe a la degradación que se le ha dado, ya que ha sido un factor importante que ha reducido la calidad de este recurso para los habitantes y las futuras generaciones. En los últimos años para el 2012 el territorio Colombiano contaba con 3.842.303 Hectáreas cultivadas según la (Sociedad de Agricultores de Colombia, 2016), donde se han colocado pastos permanentes para remplazar los bosques y tierras forestales que han sido devastados con fines agrícolas, ganaderos, industriales, etc. Es por esto que a términos generales el crecimiento de la producción global de alimentos se ha visto a la baja, debido a la inadecuada disposición y manejo que se le ha brindado a los recursos hídricos y del suelo que se encuentran estrechamente relacionados entre sí. (Steer, 1998). Ante la creciente preocupación de la baja calidad que los suelos están alcanzando, se ha buscado que los gobiernos se centren en la formulación de objetivos que se encarguen de la recuperación de las propiedades del suelo, como se han trabajado con los demás recursos del agua y aire, es relevante que se formule una normatividad pertinente para juntar esfuerzos para lograr que se coordinen mecanismos de búsqueda, demostración y enfoques de aprovechamiento de este recurso sin alterar sus propiedades, ya que no se puede esperar que sea tal el grado de degradación, que no se presenten sus funciones ecosistémicas normales, su restauración sea tardía, costosa e incierta. Ante esta preocupación, Keeney se cuestiona “¿Cuántos sitios de residuos han sido recuperados verdaderamente?, y agrega que “ninguna nación o estado que apoya un ecosistema que degrada el suelo no es sostenible” (Keeney, 1999).

El suelo, tal como el aire o el agua, es un factor importante del ambiente que nos rodea, que si incluimos con el agua son parte de los recursos naturales más importantes para la subsistencia humana. Por lo cual tener un manejo adecuado de este importante recurso tan importante que se convierte en una pieza clave para el desarrollo sostenible. En años pasados se han desarrollado estudios para seleccionar los criterios correspondientes que deben poseer los suelos para un óptimo índice de calidad. Sin embargo, el monitoreo de los cambios presentados en la calidad del suelo, resultado de los manejos que se le ha dado a varios ecosistemas, ha sido un proceso lento. Donde se debe crear la selección de los indicadores que son claves y los valores correspondientes, que deben ser mantenidas con el funcionamiento normal de los suelos. (Arshad & Martin, 2002)

1.1 Formulación del Problema.

La creciente demanda de alimentación debido al aumento de la población, ha llevado a que se desarrollen nuevos productos químicos en su mayoría el uso de fertilizantes, pesticidas y nuevas tecnologías de agricultura. Estos productos y nuevos desarrollos han llevado a que se produzcan efectos de degradación en el suelo, cambiando así sus propiedades y alterando los procesos que hacen que este sea fértil. Algunos de los efectos que podemos ver asociados a este problema es que tenemos la probabilidad a aumentar la erosión la producida por el viento o el agua, reduce la capacidad de retención del agua y de las propiedades de calidad de esta misma, alteración de metales y de la productividad y sostenibilidad de este mismo. (Ordoñez, Galicia, Figueroa, Bravo, & Peña, 2015)

La calidad del suelo y la salud del suelo son términos que se encuentran relacionados entre sí, pero no significa que sean sinónimos (Doran & Parkin, 1994). Podemos interpretar la calidad del suelo como la utilidad del suelo para cumplir un objetivo específico a través de un tiempo determinado (Carter, y otros, 1997) y el estado de los factores que interactúan entre sí, la presencia de materia orgánica, comunidad de organismos, o la producción microbiana en un periodo de tiempo determinado representa la salud del suelo. (Roming, Garlyng, RF, & McSweeney, 1995).

Por lo cual se ha definido que el mejoramiento de la calidad del suelo es crucial para el sostenimiento de la agricultura y el mejoramiento del ambiente para así preservar las condiciones presentes y no comprometer las generaciones futuras. (Reeves, 1997).

En este sentido podemos mencionar que la calidad del suelo depende del manejo que se le esté brindando ya sea de las prácticas agrícolas, de la gestión de las enmiendas orgánicas y los fertilizantes minerales pueden ser causantes de los impactos sobre la fertilidad del suelo o de la calidad de este mismo, donde se puede hablar de cómo estas prácticas pueden cambiar la cantidad y la calidad de los nutrientes que tenemos en el suelo, al igual que el proceso de descomposición de la materia orgánica. (Gerzabek, Antil, Kogel, Knicker, & Kirchmann, 2006). Para tratar de mejorar la producción agrícola a corto

plazo se han implementado nuevas técnicas para acelerar los procesos, como los fertilizantes minerales que se le agregan al suelo para mejorar su rendimiento, pero esto tiene como consecuencia que al momento de incrementar el rendimiento de la biomasa vegetal, los residuos vegetales que quedan de este proceso, quedan en el suelo y estos que poseen también contenido de fertilizantes minerales pueden alterar las propiedades del suelo. (Dick, Rasmussen, & Kerle, 1988). Así que conocer los impactos orgánicos y los fertilizantes minerales y la combinación aplicada de estos dos compuestos puede tener influencia en la calidad del suelo y por lo tanto estos deberían aportar al desarrollo de la agricultura sostenible, por lo que podría ser un factor para prevenir la degradación del suelo. Por lo que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo han sido designadas para ser base de la calidad del suelo. (Giacometti, y otros, 2013).

Los indicadores más importantes para la calidad del suelo que han sido sugeridos son la materia orgánica del suelo (Reeves, 1997), otro indicador que ha sido sugerido como indicador de la calidad del suelo es la fracción de agua extraída de la materia orgánica del suelo (Zsolnay, 2003), la micro biota del suelo, ha logrado adaptarse a los cambios ambientales que se han producido a lo largo del transcurso del tiempo (Schloter, Dilly, & Munch, 2003), estos son los principales indicadores que han sido sugeridos para medir la calidad del suelo. (Giacometti, y otros, 2013)

Por lo que con las menciones anteriores nos preguntamos. ¿Es posible la construcción de un indicador con propiedades físicas y químicas, que nos permitan predecir el nivel de materia orgánica que se encuentra en los suelos?

2. Objetivos de la Investigación.

2.1 Objetivo General.

Construir un indicador de carga orgánica como un indicador de calidad ambiental en suelos, a través de las propiedades físicas y químicas de este para tener un indicio del nivel de materia orgánica en los suelos.

2.2 Objetivos Específicos.

- ✚ Conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, para realizar su clasificación de calidad.
- ✚ Determinar según las propiedades arrojadas del suelo, en qué porcentaje de calidad se encuentra, según la tarjeta de salud adaptada de la USDA.
- ✚ Construir un posible indicador de carga orgánica como un indicador de calidad ambiental en suelos.

3. Justificación y Delimitación de la Investigación.

3.1 Justificación.

La calidad del suelo, como se ha descrito anteriormente, se ha logrado asociar a diferentes factores entre ellos el ciclo de los nutrientes o también a los ciclos biogeoquímicos, donde se puede evidenciar que la actividad microbiana, la diversidad y como han sido supresoras de algunos agentes externos a su medio. (Van Bruggen, y otros, 2015).

Por lo que las variables biológicas del suelo son consideradas como un buen indicador del suelo, debido a que estas tienen características que reflejan la gestión que se le está brindando al suelo. (Benintende, Benintende, Sterren, Saluzzio, & Barbagelata, 2015).

Las propiedades de los suelos, han sido modificados a través de los años debido a la gestión que se le ha brindado ya sea por parte de los campesinos o de los indígenas Colombianos para la producción de alimentos, fibras o combustibles ha generado unos cambios significativos en el comportamiento del terreno alterando su calidad y por consiguiente su fertilidad y producción en diferentes grados. (Ordoñez, Galicia, Apolinar, Bravo, & Peña, 2015). La importancia de investigar sobre este tema, se debe a que el suelo representa una parte importante del reservorio biológico del mundo, y en nuestro país no se le ha brindado la atención necesaria, siendo este el recurso que más uso se le ha dado anualmente ya sea de forma agrícola, ganadero, de desarrollo urbano o industrial, etc., ante el excesivo uso, se ha generado impacto en este recurso, causando contaminación

de los suelos, ya sea por el uso de químicos como fertilizantes, a la mala disposición de residuos, las malas prácticas de gerencia del suelo, el derrame de sustancias tóxicas sobre este recurso, a la deposición atmosférica de contaminantes, entre otros, por lo cual al no contar con las características bases para saber si un suelo cuenta con las propiedades físicas, químicas y biológicas, no conoceremos ni podremos garantizar un desarrollo económico como se ha trabajado hasta el momento y se podría llegar a un punto en el que ya no se podrá seguir cubriendo las necesidades básicas de alimentación y de desarrollo de nuestro país. (Nielsen, Wall, & Six, 2015).

Teniendo entendido esto, se plantea la necesidad de conocer la calidad de un suelo bajo las condiciones biofísicas de nuestro país, para contar con una base en estas propiedades físicas, químicas y biológicas y como la contaminación y la degradación de los suelos ha alterados estas propiedades en nuestro territorio nacional.

3.2 Delimitación.

La presente investigación tiene como centro de investigación una sola área del suelo Bogotano, donde se obtendrá los correspondientes muestreos, esta zona se encuentra ubicada en la vereda Curubital en la localidad de Usme. Los análisis de los indicadores de la calidad del suelo se realizaran a partir de la bibliografía existente en el tema, donde se compararan los índices y si indica presencia de contaminación de este recurso.

Localización y aspectos generales localidad de Usme



Ilustración 1. Localidad de Usme
(Fuente: Angie Rojas, 2014)

Situada en el sur de la ciudad de Bogotá, la localidad de Usme limita al norte con las localidades San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Tunjuelito; al oriente con los municipios de Chipaque y Uña; al sur con la localidad de Sumapaz; y al occidente con la localidad de Ciudad Bolívar, con el Río Tunjuelo de por medio y los municipios de Pasca y Soacha. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2016)

La topografía de Usme combina una parte plana a ligeramente ondulada ubicada al noroccidente de la localidad y otra parte inclinada a muy inclinada localizada en las estribaciones de la Cordillera Oriental (Reserva Forestal Nacional Protectora Bosque Oriental de Bogotá y Reserva Forestal Protectora-Productora Cuenca Alta del Río Bogotá). La temperatura superficial de Usme puede referirse a los datos registrados por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, en la estación de Usme durante los años 2006, 2007, 2008, y 2010, el promedio de estos últimos seis años es de 12.78°C. (Trujillo, 2013)

Los recursos hídricos de Usme son abundantes: los ríos Tunjuelo, Curubital, Chisacá, Lechoso y Mugroso son los más importantes. En el área urbana de la localidad se destacan entre otras quebradas: La Requilina, La Taza, El Piojo, Chiguazu, Yomasa, Bolonia, La Resaca, Santa Librada, Verejones, Morales y El Zuque. (Secretaría Distrital de Planeación, 2011)

El parque Entrenuebes es un parque ecológico distrital de montaña, muy importante en la localidad por los servicios ambientales que presta a la comunidad, se destacan las actividades realizadas en el aula ambiental. (Secretaría Distrital de Planeación, 2011)

En la localidad de Usme se desarrollan diferentes usos del suelo: residencial y comercial principalmente. En la Reserva Forestal Nacional Protectora Bosque Oriental de Bogotá, declarada mediante la resolución 76 de 1977 por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, “está prohibida la construcción de viviendas o la ampliación de las existentes y el desarrollo de actividades mineras, industriales que impliquen, en forma definitiva, el cambio en el uso del suelo y por lo tanto de su vocación forestal” (Resolución 1141 de 2006 de la CAR); no obstante los conflictos por la ocupación indebida del suelo y el ejercicio de usos del suelo no permitidos continúa hasta ahora. En el sur de la localidad, en la zona rural, predominan los usos agrícolas y pecuarios. (Secretaría Distrital de Planeación, 2011)

En la ilustración 2, se relaciona la distribución del uso del suelo en la localidad de Usme:

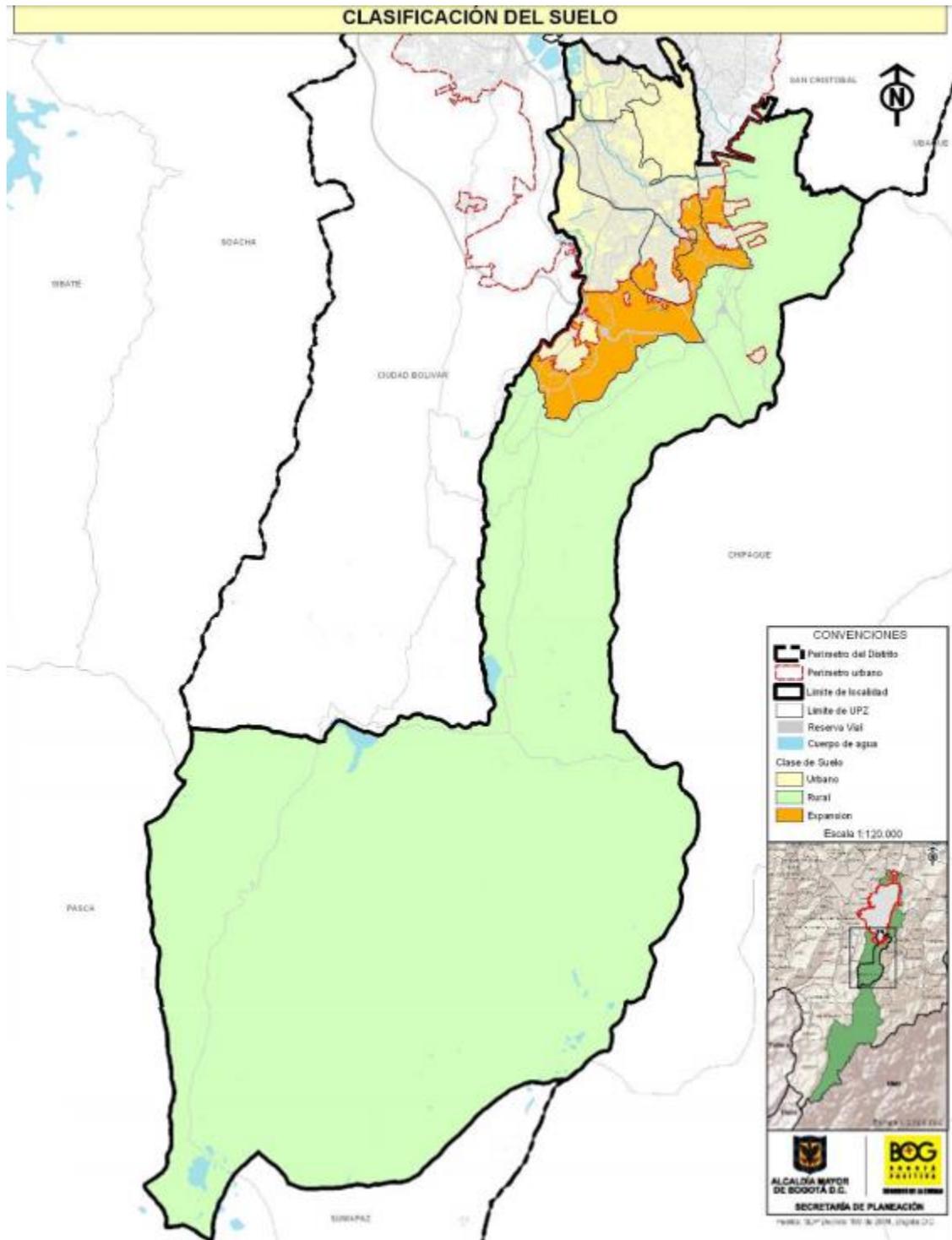


Ilustración 2. Clasificación del suelo localidad de Usme
(Fuente: Secretaria Distrital de Planeación, 2011)

El suelo rural se encuentra identificado en la ilustración 2. Clasificación del suelo localidad de Usme, con un color verde claro en el cual se encuentra dividido por 29 veredas que se muestra en la ilustración 3. Veredas de la localidad de Usme.

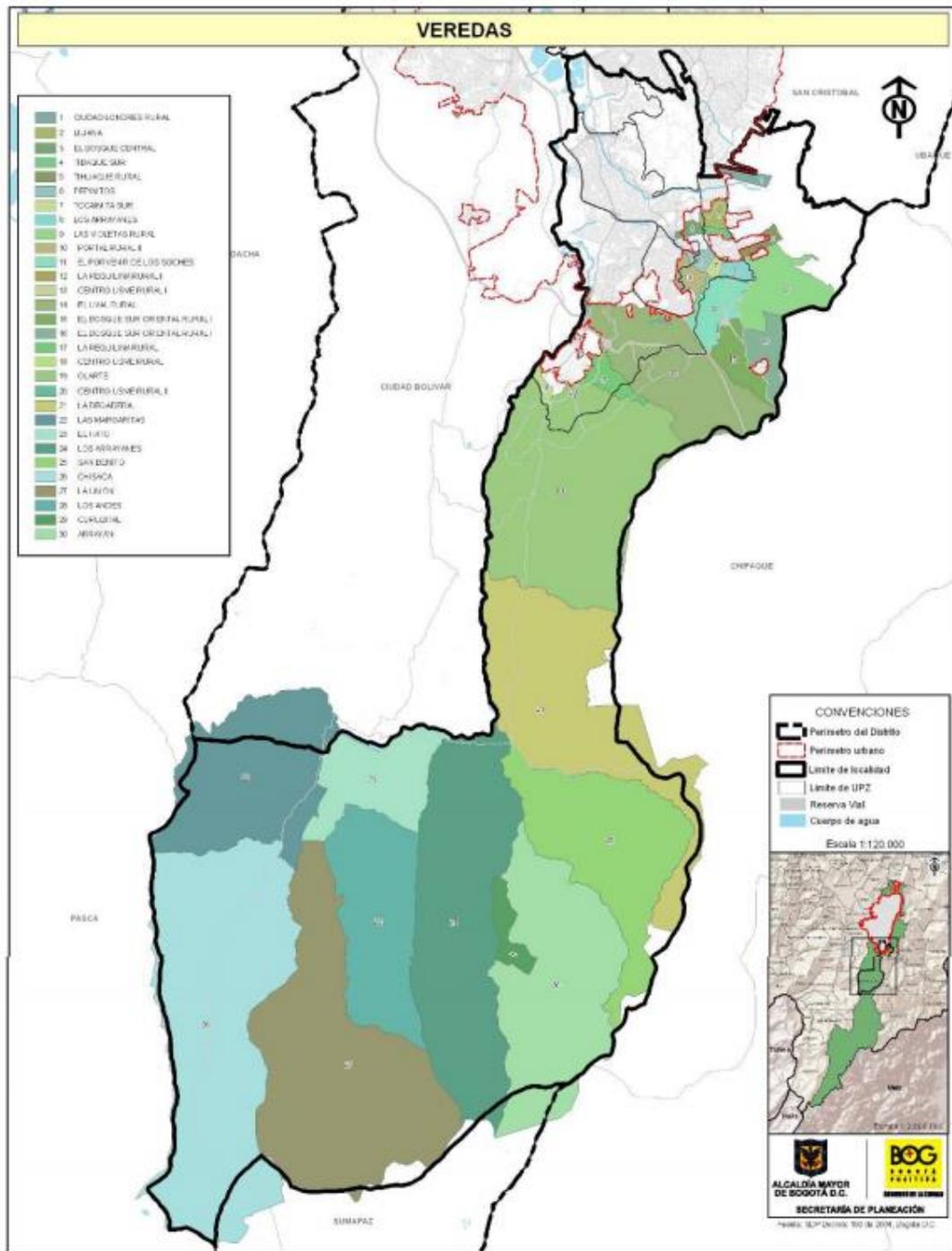


Ilustración 3. Veredas de la localidad de Usme
(Fuente: Secretaria Distrital de Planeación, 2011)

Se realizaran los laboratorios pertinentes para conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas y así lograr clasificarlas en los indicadores existentes. Por lo que solo se realizar la construcción del indicador, si se encuentra un exceso de carga organica del suelo en los muestreos realizados pero no se realizara algún el plan de gestión ni de recuperación de este recurso, el único interés de la investigación es la construcción del indicador para futuras investigaciones en el campo.

3.3 Marco Teórico.

El suelo representa una parte importante para el soporte de los ecosistemas, por lo que se puede decir que cualquier alteración en los ecosistemas, producirá cambios en las funciones principales y secundarias del suelo, como la vitalidad, productividad, como se componen las especies y la hidrología del suelo. Pero aun conociendo el papel tan importante que tiene este recurso, se ha visto que los altos costos y la logística dificultan la toma de muestras de suelo y mantener un monitoreo de los inventarios de suelos por lo que se generalizan, en su gran mayoría. Desde otra perspectiva, los organismos que se encuentra en el suelo juegan roles importantes en las interacciones tróficas, en los ciclos biogeoquímicos y la interacción planta-suelo, y es gracias a estas interacciones que funcionan los ecosistemas. Pero debido a que se han realizado mayoritariamente estudio de las comunidades que se encuentran sobre el suelo y no en el suelo el conocimiento es limitado sobre estas comunidades. El suelo puede tener una apariencia de resistencia, este puede ser muy frágil debido a las alteraciones que se le está presentando, donde se están amenazando tanto las propiedades del suelo y así como a su biota, estos cambios se están presentando por las alteraciones globales que se han venido presentando como el calentamiento global, los usos del suelo, el uso de pesticidas, de fertilizantes químicos y del cambio producido por la migración de las nuevas especies a ecosistemas no propios de estos, por lo que se producen las alteraciones sobre el recurso suelo. (Nielsen, Wall, & Six, 2015)

La caracterización de suelos muchas veces se ha realizado por la extrapolación de datos que se han generado de investigaciones individuales que buscan compararlos con los

mismos tipos de suelo o con características de la vegetación que sean similares. Pero este proceso genera dificultades ya que podemos realizar la extrapolación de los datos obtenidos en un suelo que sea del mismo tipo e incluso que posea la misma vegetación pero las condiciones de uso del suelo no pueden ser las mismas, el uso de productos químicos en este suelo o la disposición que se le dé al suelo, por lo que no es lo mismo realizar esta extrapolación de datos ya que las características tanto físicas, químicas y biológicas serán totalmente diferentes y no se podrá obtener un dato real de la salud y una gestión sostenible del suelo. (O'Neill, Amacher, & Palmer, 2005).

Una vez se ha realizado el monitoreo de un suelo específico de manera cualitativa y cuantitativa, se revisara la tendencia de los datos obtenidos, serán evaluados con indicadores de otros seguimientos y con esto se podrá evaluar el impacto potencial que el cambio de las características del suelo tiene sobre los ecosistemas.

Debido a que el estudio se va a realizar en una Vereda de la Localidad de Usme se realiza una breve descripción del sitio para conocer las condiciones del sitio de donde se recolectara la muestra:

Vereda Curubital (Usme): Es la vereda con mayor extensión entre las veredas de la zona rural de la Localidad quinta de Usme. Alrededor del año de 1963 se le dio la personería jurídica a la junta de acción comunal de la vereda, quedando está legalmente constituida. Por esta época se realizó, por gestión de la junta de acción comunal, la ampliación de la vía principal de la vereda, solo llegaba hasta la mitad del recorrido.

En el año 2007 se construyó el actual acueducto de la zona, anterior a esa fecha, los habitantes de la vereda recogían agua directamente de las fuentes naturales.

El servicio de energía eléctrica se instaló alrededor del año de 1976, por iniciativa del señor Jorge Mican, propietario de la hacienda más grande de la vereda llamada "La Micania" esta red eléctrica cubrió las veredas de Curubital y Arrayanes. (Leon Gracia, 2012). En la ilustración 4. Se muestra la georreferenciación de la vereda Curubital.

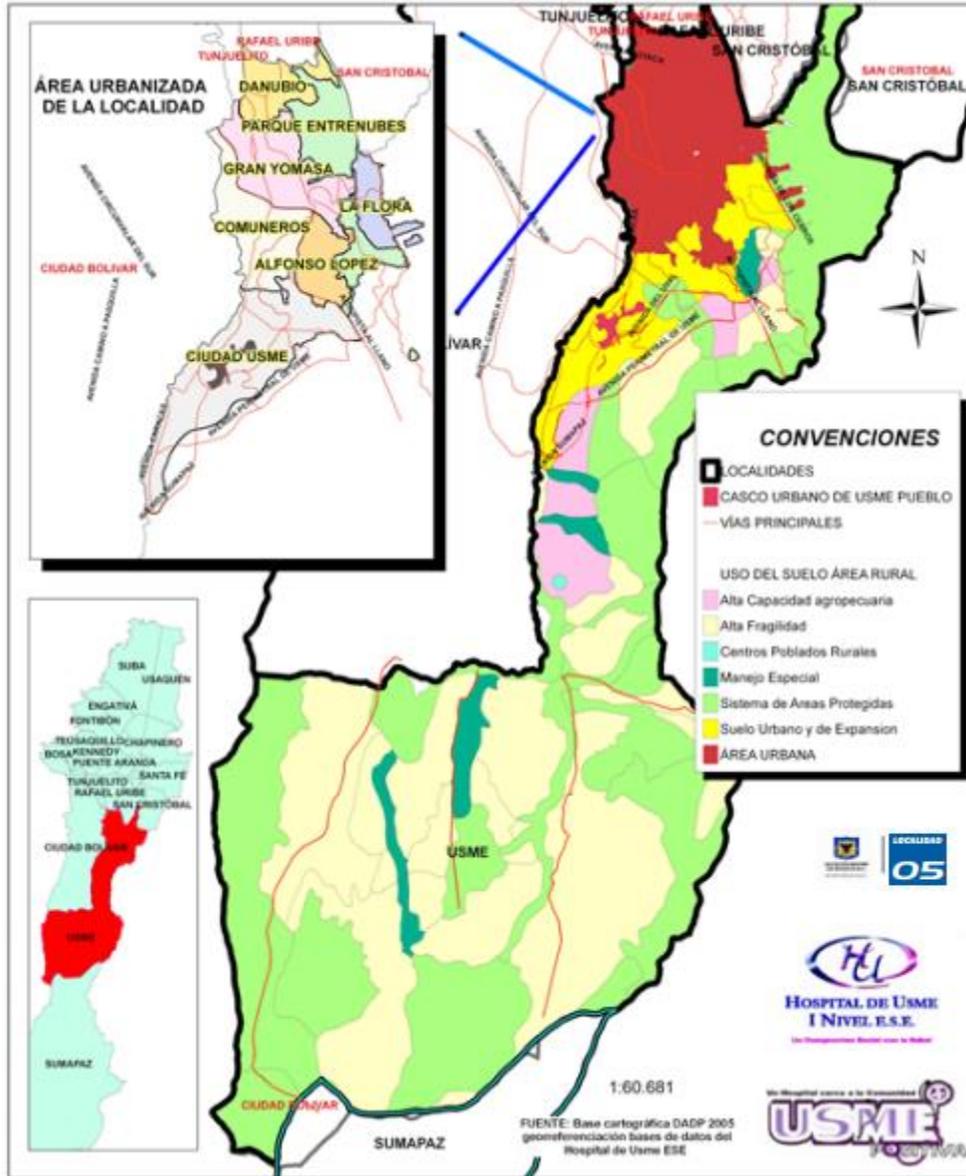


Ilustración 4. Georreferenciación de la vereda Curubital
 (Fuente: Bases de datos del Hospital de Usme E.S.E, 2010)

3.4 Marco Conceptual.

3.4.1 Salud del Suelo

La salud del suelo es diferente a la calidad del suelo como lo define Roming, 1995, donde expresa que es el estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o de productos microbianos en un tiempo particular. (Bautista Cruz, Etchevers Barra, del Castillo, & Gutierrez, 2004).

Según la FAO tenemos que las principales características del suelo se consideran como indicadores de su salud se designan la disponibilidad de nutrientes, la facilidad de trabajarlo la disponibilidad de nutrientes, la facilidad de trabarlo la disponibilidad de oxigeno por la raíces, la capacidad de retención de nutrientes, la toxicidad, la salinidad y las condiciones de enraizamiento. Como algunos ejemplos podemos encontrar la disponibilidad de nutrientes. (FAO, 2016).

También podemos encontrar que la salud del suelo, puede ser un concepto difícil de entender que son las propiedades físicas, químicas y biológicas que son esenciales para mantener de forma prolongada una productividad agrícola de forma sostenible con el mínimo impacto medioambiental. Por lo que podríamos ver que aunque tengamos un suelo con buen contenido de materia orgánica y buena estructura física, si su contenido de metales pesados es elevado, no podremos utilizarlo para agricultura. (Ciencia, 2016)

3.4.2 Calidad del suelo

La calidad del Suelo como la define la NRCSS (National Resources Conservation Service Soils) es la aptitud para el uso y la capacidad del suelo para funcionar, combinando estos dos factores, la calidad del suelo es la habilidad del suelo para actuar hacia las funciones necesarias para su uso:

Las funciones del suelo incluyen:

- Sostenimiento de la **diversidad biológica**, actividad y productividad
- Regulación del flujo del **agua** y los solutos
- **Filtración**, Buffering, degradación de materiales orgánicos e inorgánicos
- Almacenamiento y ciclo de **nutrientes** y **carbón**
- Proporciona soporte y **estabilidad física** (NRCSS, 2015)

3.4.3 Contaminación del Suelo

Según el decreto nacional 1713 de 2002, adicionado por el Decreto nacional 838 de 2005, lo define “es la alteración del medio ambiente por sustancias o formas de energía puestas allí por la actividad humana o de la naturaleza en cantidades, concentraciones o niveles capaces de interferir con el bienestar y la salud de las personas, atentar contra la flora y/o fauna, degradar la calidad del medio ambiente o afectar los recursos de la nación o particulares.” (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016).

Es definida por Joachin Bolaños, 2013, “La contaminación del suelo es el desequilibrio físico, químico o biológico del suelo que afecta negativamente a las plantas, animales y humanos. (Peñaloza, 2013)

3.4.4 Indicadores de Calidad Ambiental del Suelo

Según los autores Prieto, Prieto y Acevedo, 2013, se define como una variable que simplifica información relevante haciendo que una condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante. Deben ser preferiblemente variables cuantitativas, aunque pueden ser cualitativas, nominales, de rango u ordinales, especialmente cuando no hay disponibilidad de información cuantitativa, el atributo no es cuantificable o cuando los costos para cuantificar son demasiado elevados. (Prieto, Prieto, & QAcevedo, 2013)

Según la interpretación de SQI, 1996, “pueden ser las propiedades físicas, químicas y biológicas o procesos que ocurren en él”, pero para Dumanski, 1998, “dichos indicadores, no podrían ser un grupo seleccionado para cada situación particular, sino que deben ser

los mismos en todos los casos. Esto con el propósito de facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional”. Pero tan posición no es compartida por Bautista Cruz, Etchevers Barra, del Castillo, & Gutiérrez, 2004, donde plantean que este “indicador deben reflejar las principales restricciones del suelo, en congruencia con la función o las funciones principales que se evalúan, como lo ha sugerido Astier et al. (2002). Hunnemeyer et al. (1997) establecieron que los indicadores deberían permitir: (a) analizar la situación actual e identificar los puntos críticos con respecto al desarrollo sostenible; (b) analizar los posibles impactos antes de su intervención; (c) monitorear el impacto de las intervenciones antrópicas; y (d) ayudar a determinar si el uso del recurso es sostenible.” (Bautista Cruz, Etchevers Barra, del Castillo, & Gutiérrez, 2004)

Por otra parte tenemos la definición por parte de la USDA, que no indica que estos indicadores, donde nos dice; las evaluaciones de calidad del suelo se llevan a cabo mediante la evaluación de indicadores. Indicadores que pueden ser propiedades físicas, químicas y biológicas, procedimientos o características del suelo. Ellos pueden ser morfología o características visuales de las plantas. Los indicadores son medidos para monitorear los cambios inducidos en el suelo.

¿Cuál es la utilidad de los indicadores?

Los indicadores son útiles para:

- Fáciles de medir
- Capaces de medir los cambios en las funciones del suelo
- Evaluado en un periodo de tiempo razonable
- Accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo
- Sensible a las variaciones de clima
- Representante de las propiedades físicas, químicas y biológicas
- Evaluados por métodos cualitativos y cuantitativos

Los indicadores de calidad del suelo son seleccionados por su relación específica con las propiedades del suelo y la calidad de este. Por ejemplo, tenemos la materia orgánica es un indicador ampliamente utilizado, porque puede brindar información de un gran margen de las propiedades tales como la fertilidad del suelo, estructura, estabilidad del suelo y

retención de nutrientes. Igualmente, los indicadores de plantas, tales como la profundidad de la raíz, puede brindar información acerca de la densidad aparente o la compactación del suelo.

Los indicadores pueden ser evaluados por técnicas cualitativas o cuantitativas. Una evaluación cuantitativa es la medida exacta de un indicador. Por ejemplo, si la erosión es el indicador que vamos a evaluar, una evaluación cualitativa podría ser la observación de los arroyos y de las cárcavas del campo, indicando que se está produciendo erosión. Una evaluación cuantitativa podría ser la medida de la cantidad de la erosión ocurrida en el campo. En otro ejemplo, una evaluación cualitativa de infiltración podría ser la observación de la escorrentía en exceso de agua en el campo. Una evaluación cuantitativa podría ser la medida del porcentaje de infiltración. (USDA, 2001)

3.5 Marco Legal

El marco normativo vigente que trata acerca del recurso suelo se encuentra la Constitución Política de 1991 donde se establece el marco general para el uso, acceso y conservación de los componentes del ambiente entre los cuales encontramos el suelo por ser un recurso no renovable, donde la misma, otorga una importancia fundamental al tema ambiental, al establecer como uno de los principios la obligación del estado y de las personas de proteger las riquezas culturales y naturales de la nación y para ello, determina que el Estado Colombiano debe proteger la diversidad como la integridad del medio ambiente.

En el artículo 79 la Constitución Política establece que “Todas las personas tiene derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizara la participación de la comunidad en las decisiones que pueda afectarlo y es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”, y en el artículo 80, señala que “El Estado planificara el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución”. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

Por otra parte, la ley 99 de 1993 que crea al Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, le asigna dentro de sus funciones la de establecer los criterios ambientales que deben ser incorporados en la formulación de políticas sectoriales y en los procesos de planificación de los demás Ministerios y entidades, por lo que dentro de esta formulación podemos encontrar la Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental del Suelo (GIAS), que tiene como fin aportar a la conservación y uso sostenible de este componente determinante de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes e indispensable para la preservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

De otra parte, mediante la Resolución 0170 de 2009 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se declaró el año 2009 como el año de los suelos y el 17 de junio como Día Internacional de los Suelos.

Estas son algunas de las más relevantes a nivel nacional, pero vamos a mencionar algunos de los convenios que son significativos que se han dado a nivel internacional:

- La Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano, donde se habló por primera vez de la responsabilidad intergeneracional y del impacto que los hechos presentes pueden ocasionar a las generaciones futuras. Igualmente se habló de los derechos de los Estados de extraer los recursos naturales en su territorio pero lo condiciona al desarrollo de instituciones nacionales competentes que tendrán la tarea de planificar, administrar o controlar la utilización de recursos ambientales.
- La Declaración de Nairobi (Kenia); se basó en la preocupación sobre los impactos ambientales futuros, por la falta de la implementación de las políticas de protección ambiental.
- La Declaración de Río de Janeiro sobre Ambiente y Desarrollo

- El Convenio de la Diversidad Biológica, donde se obliga a los Estados signatarios a la conservación, restauración y protección de los ecosistemas para la protección de la biodiversidad y el uso sostenible de la misma.
- El Convenio internacional de la lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación y, la Cumbre mundial de Johannesburgo sobre Desarrollo Sostenible, donde se ratificaron los compromisos para alcanzar el desarrollo sostenible y la obligación de los Estados de proteger los bienes ambientales, entre estos el suelo. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)

A continuación se relacionan algunas de las referencias normativas relacionadas con la participación ciudadana en aspectos del uso del suelo:

ASPECTO	TEMA	NORMA	CONTENIDO
Distribución del Suelo	Zonas de reserva forestal	Ley 2° de 1959	Por el cual se dictan normas sobre económica forestal de la Nación y conservación de los recursos naturales renovables
	SINAP	Decreto 2372 de 2010	Por lo cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1994, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el sistema nacional de áreas protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y se dictan otras disposiciones
	Resguardos indígenas	Convenio 169 de la organización del trabajo	La convención americana de los derechos humanos de 1989 sobre "pueblos indígenas y tribales en países independientes"
		Constitución Política	Artículos 1, 2, 7, 10, 13, 23, 37, 38, 40, 43, 58, 63, 64, 65, 67, 68, 70, 71, 72, 74, 86, 103, 106, 171, 176, 247, 302, 350 se hace la referencia a la protección de sus derechos y las obligaciones del Estado de preservarlos.
		Ley 21 de 1991	Aprobó el convenio 169 sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes, adoptada por la 76ª. Reunión de la conferencia general de la

		organización internacional del trabajo
	Ley 715 de 2001	Sobre distribución de competencias y asignación de recursos a las entidades territoriales. Concebida bajo los principios de autonomía, descentralización y participación
	Decreto 2164 de 1995	Por lo cual se reglamenta parcialmente el capítulo XIV de la ley 160 de 1994 en lo relacionado con la dotación y titulación de tierras a las comunidades indígenas
Territorios Colectivos	Constitución Política	Artículos 1, 2, 7, 10, 13, 23, 37, 38, 40, 43, 58, 63, 64, 65, 67, 68, 70, 71, 72, 74, 86, 103, 106, 171, 176, 247, 302, 350 se hace la referencia a la protección de sus derechos y las obligaciones del Estado de preservarlos.
	Ley 70 de 1993	Reconocer a las comunidades negras que han venido ocupando tierras baldías en las zonas rurales ribereñas a los ríos de la cuenca del pacífico, de acuerdo con sus prácticas tradicionales de producción, el derecho colectivo a la propiedad”
	Decreto 1745 de 1995	Reglamentario de la ley 70, contempla la forma en que se realiza la constitución, ampliación y saneamiento de los territorios colectivos de las comunidades Negras
Zonas de reserva	ley 160 de 1994	Por lo cual se crea el Sistema Nacional de Reforma Agraria y Desarrollo Rural Campesino
Campesina	Decreto 1777 de 1996	Por lo cual se reglamenta parcialmente el capítulo XIII de la ley 160 de 1994, en lo relativo a las zonas de reserva campesina
	Acuerdo 024 de 1996	Criterios generales y el procedimiento para seleccionar y determinar las zonas de reserva campesina

Participación Ciudadana	Principios	Constitución Política	Artículo 1, 2, 40, 41, 45, 49, 68, 78, 103, 104, 105, 106, 270, 311
	Mecanismos de participación en materia ambiental	Ley 134 de 1994	Por lo cual se dictan normas sobre mecanismos de participación ciudadana
		Ley 99 de 1993	Desarrolla la noción de participación al incluir como uno de los principios generales ambientales que la acción para la protección y recuperación ambientales del país
	Consulta previa	Ley 21 de 1991	Se aprueba el convenio 169 sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes
		Ley 70 de 1993	Ginebra 1989 artículos 15 y 17 principalmente
		Corte constitucional sentencia 383 de 2003	La consulta previa es de carácter fundamental, de obligatorio cumplimiento y esencial para la cohesión social
Veedurías Ciudadanas	Ley 850 de 2003	Por el cual se reglamentan las veedurías ciudadanas	

Tabla 1. Normas relacionadas con participación ciudadana en aspectos del uso del suelo
(Fuente: Política de Gestión Integral del Suelo)

3.6 Marco Histórico.

Para realizar el seguimiento de las características de los suelos se comenzó un programa en Estados Unidos el FIA (Forest Inventory and Analysis) y el FHM (Forest Health Monitoring) que son programas de la USDA (United States Department of Agriculture) para las mediciones implementadas al suelo como parte del programa de monitoreo nacional. El programa FIA en las últimas tres de décadas ha ampliado su perspectiva de realizar un inventario básico para pasar a realizar una gestión más integrada de los recursos y con esto la gestión sostenible y con esto monitorear todas las tierras forestales.

La NRCS, Agricultural Research Service (ARS), un servicio de extensión cooperativa y otros han ido trabajando hacia la mejora de la calidad del suelo por un largo periodo de

tiempo, encontrando las mejores prácticas para una adecuada gestión como control de la erosión y la gestión de nutrientes. Además ha mostrado como la calidad del suelo ha emergido como un concepto guía en la conservación y protección de los recursos naturales, como un énfasis más fuerte ahora se coloca sobre la relación entre propiedades dinámicas específicas del suelo y el rendimiento del suelo. El aumento de estas propiedades dinámicas del suelo en la meta de la gestión de la calidad del suelo.

Múltiples Beneficios y Aplicaciones

Las medidas de conservación utilizadas por granjeros, profesionales de la agricultura, y agencias públicas y privadas se encuentran ya estrechamente vinculados con la gestión para la calidad del suelo. Las prácticas de conservación tales como los cultivos de conservación, amortiguación (buffers), gestión de nutrientes y plagas, rango de ordenación de pastos y humedales y la restauración de stream bank incorpora la gestión y las metas de tratamiento. El logro de los objetivos de secuestro de carbono, calidad del agua y del aire se basan en la mejora para la calidad del suelo. Un ejemplo, un método típico para calidad de suelo por incremento de materia orgánica involucra reducir los cultivos o la labranza del suelo, una práctica fundamental para reducir la erosión. Decreciendo la erosión involucra la calidad del agua por la reducción de sedimentación por escorrentía. En áreas sujetas a erosión eólica, la conservación de cultivos reduce la cantidad de material particulado en el aire. Así, la reducción de la labranza para mejorar la calidad del suelo también beneficia el control de la erosión, la calidad del aire, y las metas de calidad del agua.

Enfoque Integrado

La calidad del suelo es usado como un modelo para evaluar y mejorar el recurso suelo como proporciona un enfoque integrado, un método para evaluar múltiples aspectos en el suelo y sus conexiones. Vinculando propiedades físicas, químicas y biológicas, todos los componentes y las interacciones del sistema suelo se consideran juntas. (USDA, 2001)

Por otra parte el NRCSS (Natural Resources Conservation Service Soils) dependencia de la USDA (United States Department of Agriculture) ha desarrollado una serie de hojas con la información física, química y biológica donde se relacionan los indicadores donde

brindan la ayuda para que los científicos tenga alternativas de conservación y a conservar la salud del suelo. Dando a conocer factores que los afectan, como es la relación con la función del suelo, métodos de mejora y las opciones que se tienen para realizar las mediciones y el análisis para cada tema de interés. (USDA, 2016).

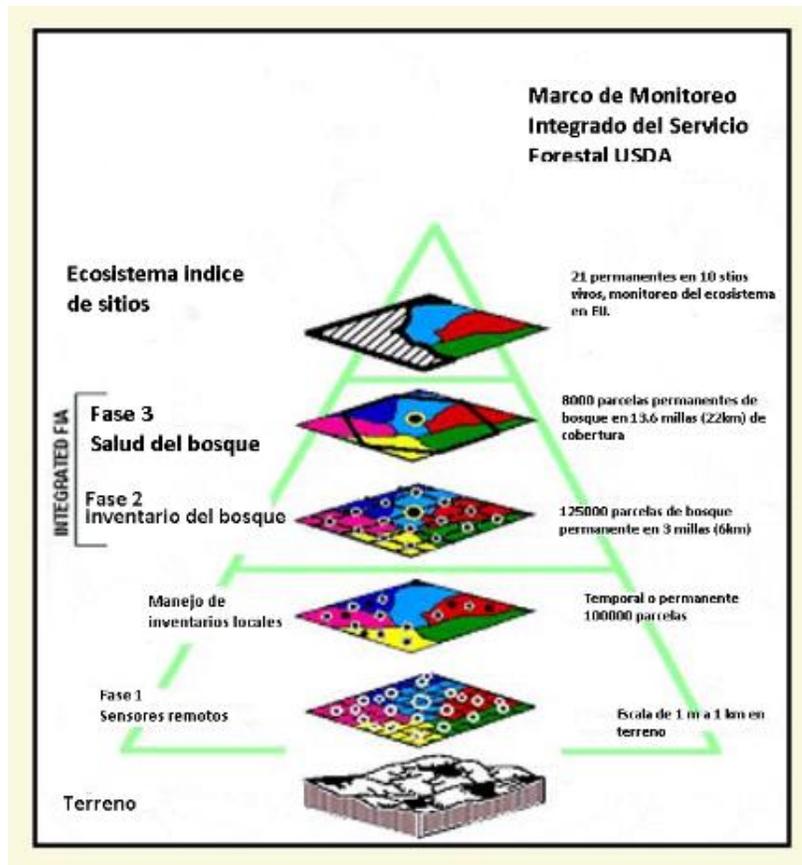


Figura 1. Programa de análisis nacional e inventario forestal
(Fuente: Adaptado de USDA forest service)

Adicional a esto se han realizado estudios para evaluar individualmente los indicadores en la calidad del suelo y la misma calidad del suelo por medio de las características que este presenta, se menciona algunos estudios que se han llevado acabo para conocer la calidad del suelo:

- Variables biológicas como indicadores de calidad de suelos: efecto del tiempo de muestreo y la capacidad para clasificar los suelos por su aptitud. (Benintende, Benintende, Sterren, Saluzzio, & Barbagelata, 2015)

- Indicadores variables para una óptima selección de la longitud de onda en la reflexión difusa espectroscopia de suelos (Sarathjith, Sankar Das, Wani, & Sahrawat, 2016)
- Validación indirecta del índice de área de sensibilidad ambiental mediante indicadores de degradación del suelo: un enfoque a escala de un país. (Salvati, Ferrara, & Corona, 2015)
- Indicadores de calidad de los suelos químicos y microbiológicos y su potencial para diferenciar regímenes de fertilización en la zona templada de los agros ecosistemas. (Giacometti, y otros, 2013)

Estos son algunos artículos que podemos ver que están referenciados en el tema de estudio de los indicadores de calidad ambiental, donde se han evaluado las propiedades del suelo, también se puede evidenciar que son temas que son resientes a pesar de que conocemos el recurso suelo desde mucho tiempo atrás. Estos son los ejemplos de algunas de las gestiones que se han realizado a nivel internacional y a nivel individual en la aplicación de una problemática en su región. Por otra parte lo que se ha realizado en nuestro país, el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) ha desarrollado el Programa Nacional de Monitoreo y Seguimiento de la Degradación de Suelos y Tierras en Colombia, donde ha propuesto que la medición, vigilancia y control de los procesos de degradación y tierras son fundamentales en el desarrollo del país, donde se menciona la importancia de mantener un equilibrio ambiental y la sostenibilidad económica y social. Donde se utiliza el modelo de FPEIR, donde se realiza el seguimiento periódico en un corto, mediano y largo plazo, como se muestra en la figura No. 2. (Sanchez, y otros, 2012)

Por lo anterior podemos ver que se ha identificado que en nuestro país aproximadamente el 50% de las tierras continentales de Colombia presentan algún grado de degradación por erosión, el 5% por salinización, el 24% son susceptibles a desertificación y otros procesos de degradación como la compactación, la disminución de la fertilidad, la sedimentación y la contaminación, avanzan, sin que se contenga una información factible y certera en nuestro país.



Figura 2. Ejemplo del modelo FPEIR aplicado al recurso suelo
(Fuente: Adaptado de Blum, 2004)

Por lo tanto la degradación es una enfermedad silenciosa que está afectando la seguridad alimentaria de la población, la biodiversidad y con estos los ecosistemas, la regulación de los ciclos biogeoquímicos, entre otras. (IDEAM, 2016)

4. Tipo de Investigación

El tipo de investigación que se usara será una investigación de campo, donde se recolectara muestras de suelo directamente del área a estudiar, en la vereda de Curubital en la localidad de Usme. Esta investigación será netamente de observación al área de estudio sin ninguna participación, ni intervención o de las condiciones encontradas en el área de recolección de las muestras, se realizará el proceso sistemático, riguroso y racional para la recolección, tratamiento, análisis y presentación de datos. Donde se realizará una investigación exploratoria para conocer la calidad ambiental desde sus características físicas, químicas y biológicas del suelo para esta área de intervención y se realizara una comparación con características de contaminación si se presenta en el área de estudio, para finalmente realizar la construcción de un indicador de contaminación del suelo frente a indicadores de calidad ambiental.

El tipo de investigación permitirá, establecer una metodología alternativa para conocer los impactos ambientales negativos generados en los suelos con exceso de carga orgánica. Adicional a esto se debe aclarar que se busca brindar una propuesta encaminada a una solución ambientalmente sostenible para un recurso tan importante como lo es el suelo, para esto se han consultado diferentes fuentes las cuales ofrecen una perspectiva más amplia de este tema.

Para la obtención de este indicador se deben analizar las diferentes variables que estarán involucradas en el proceso de campo tales como las propiedades físicas, químicas y biológicas que nos presente nuestro suelo que usamos con base para determinar el indicador, por lo que tendremos una muestra de un suelo intervenido por un cultivo y un suelo sin intervención para realizar las respectivas comparaciones.

5. Diseño Metodológico

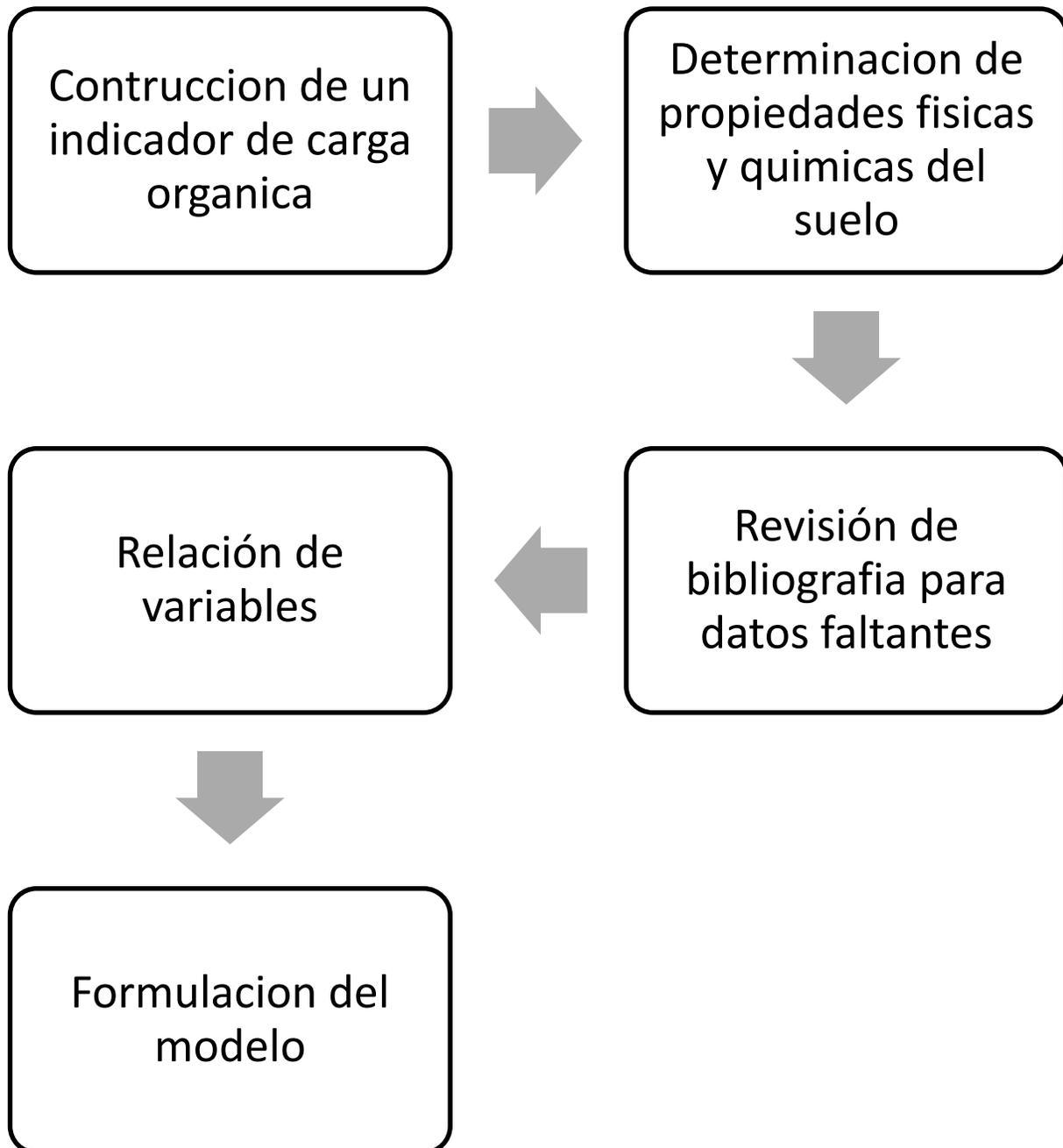


Figura 3. Diseño Metodológico Propuesto para el Desarrollo del Proyecto de Investigación
(Fuente: Autor)

5.1 Fuentes Primarias.

Las fuentes primarias que se obtendrán para esta investigación, serán los resultados que se obtengan en los laboratorios teórico-práctico realizado como parte del desarrollo de prácticas, en los laboratorios de Química y Biología de la Universidad ECCL, donde se realiza el acompañamiento del docente Msc. Andrés Felipe Molano, quien siendo director de tesis, también gestiona la compañía de otros docentes como la Msc. Silvia Narváez y directivos el prestamos de las instalaciones físicas para el desarrollo del proyecto, además también de su guía para la determinación de los parámetros necesarios para el proyecto.

Adicional se realizó visitas a la vereda Curubital en la localidad de Usme, bajo el acompañamiento del señor Luis Pacheco, propietario del área de muestreo, donde el autor de esta tesis realizo una explicación breve del propósito de la investigación y cuál era el fin de la recolección de las muestras, adicional a esto se le relaciono el protocolo de toma de muestras (recolección por Zigzag), mientras se recolectaban las muestras el menciona una breve explicación de la intervención que se realiza a los cultivos.

De estas visitas se pueden obtener la información más relevante del área donde se recolectaron las muestras, tanto como su extensión, los cultivos que se realizan en esta zona, los tipos de fertilizantes que se usan, los plaguicidas, la frecuencia de fumigación y como información relevante con que agua se irrigan estos cultivos, que para este caso se utiliza un moto bomba para traer aguas del río Curubital que se encuentra circundante a la propiedad de donde se extrajeron las muestras de nuestro interés, el río se encuentra en la cuenca alta del río Tunjuelo, por lo que no se encuentra intervención por parte del hombre hacia sus aguas y debido a que se encuentra aguas arriba de la zona de interés para nuestro proyecto.

5.2 Fuentes Secundarias.

Las fuentes secundarias para esta investigación serán los artículos de investigación realizados en los temas de indicadores de calidad ambiental, para realizar la comparación de cuáles son los niveles óptimos de calidad en los suelos, pero la principal fuente de

obtención de información serán los lineamientos que dicta la autoridad federal de los Estados Unidos la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), específicamente en la página del Servicio de Conservación de Recursos Naturales Suelos, donde se indican los parámetros físicos, químicos y biológicos de indicadores de calidad en suelos.

Adicional a esto se indaga e investiga en diferentes publicaciones referentes al tema de desarrollo del proyecto sobre el desarrollo y la importancia del tema de indicadores ambientales, para poder tener una percepción más amplia acerca del tema a trabajar; como artículos, Tesis, y otros instrumentos que se encuentre en la web; se documenta sobre los indicadores de calidad ambiental existentes en suelo y con esto tener las bases pertinentes para realizar la obtención de nuestro producto final.

Se han utilizado bases de datos de consulta tales como Google Académico, Scielo, Redalyc, y demás; la información en línea y publicaciones de las autoridades ambientales a nivel nacional e internacional referente al tema de desarrollo del proyecto.

Entre los documentos consultado y suministrados por algunas entidades de encuentran; Agriculture, Ecosystems and Environment, Ecosistemas, Ecological indicators, Ciencia del Suelo, Soil Quality for Crop Production and Ecosystems Health, Soil science society of América, Applied soil ecology, Anual reviews further, Agronomía mesoamericana, Soil wáter conservation, entre otras.

5.3 Planeación y Elaboración del Diseño Metodológico.

A continuación se muestran los diferentes puntos que se tienen en cuenta para el desarrollo del proyecto, como se desarrollaron las fases de planeación, desarrollo y finalización del proyecto con la posible construcción del indicador de carga orgánica, por lo que se llevara a cabo la formulación de un modelo de regresión lineal múltiple, donde las variables elegidas son de las propiedades físicas (color y textura) y químicas (%CO), donde cada una de esta son consideradas para finalmente obtener el nivel de materia

orgánica en el suelo. La obtención de los resultados de los laboratorios fueron acompañados por el Director de tesis, los análisis y evaluación de los resultados se presentaron bajo la supervisión del Msc. Andrés Felipe Molano.

Para la fase de medición de parámetros ex situ de la muestra de suelo y el de control se realizaron los procedimientos de laboratorio para determinar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, para poder conocer la conformación y el comportamiento de estos suelos.

Para finalizar el proyecto de investigación luego de obtener los resultados de laboratorio, se procede a realizar una revisión de la bibliografía y a la utilización de otras herramientas que nos permitan determinar los datos faltantes de manera indirecta, al contar con toda la información se realizó la evaluación de la calidad del suelo para conocer en que rango se encuentra y con esto se llegó a la construcción de un posible indicador de carga orgánica para los suelos.

5.3.1 Factores Principales y Consideraciones Generales.

Los indicadores de calidad del suelo pueden ser cualitativos y cuantitativos pero debido a que los indicadores cualitativos han sido de una evaluación subjetiva, debido a que no se realizan por la misma persona permite que se presente una gran variabilidad de resultados, por el otro lado tenemos indicadores medibles con métodos cuantitativos por lo cual tenemos mayor precisión, valores numéricos. Por lo tanto diferentes personas realizando las mediciones deben ser capaces de llegar a resultados muy similares. (USDA, 2001). Las evaluaciones cualitativas usualmente pueden ser usadas de manera simple y rápida y los productores pueden usarla sin ayuda. Por lo tanto si se requieren herramientas, generalmente son simples y fáciles de obtener. Sin embargo se debe tener en consideración que debido a que los indicadores cualitativos son de una índole subjetiva, los resultados que se obtengan no se podrán realizar una adecuada comparación con las propiedades del suelo y por lo tanto tampoco se podrá realizar una comparación de resultados con otros usuarios o granjas. (USDA, 2001). Aunque los indicadores cuantitativos requieren de más tiempo y algunas veces son más complejos, se recomienda

realizar la evaluación cuantitativa, debido a que son más apropiados para usar y que diferentes personas pueden usar y llegar a resultados similares y realizar la comparación con las propiedades del suelo. (USDA, 2001). Por lo tanto para nuestro proyecto utilizamos herramientas cuantitativas para obtener datos numéricos y poder realizar la comparación con los indicadores de calidad del suelo, para obtener un resultado confiable y conocer el estado del suelo de interés.

Indicador	U.M	ICS	
		Max.	Min.
pH	-	8.50	5.00
C orgánica (COS)	%	6.00	1.00
Saturación de Bases	%	100	50
Agregados estables en agua	%	75	10
Velocidad de Infiltración	cm/h	10	1
Densidad aparente	Mg/m ³	1.50	1.05
Potencial Zeta (pZ)	mV	+30	-30
Espesor de horizonte A	Cm	45	0
U.M.: Unidad de medida. ICS.: Indicadores de calidad de suelos			

Tabla 2. Ejemplo de Indicadores Cuantitativos
(Fuente: Soil Quality (ISQ))

Por lo que debemos recordar que un indicador es una variable que nos permite simplificar relevante de una manera cuantificable, que no informa de una manera comprensible, una información de interés. Por lo cual se recomienda que sean variables cuantificables. Por lo cual representara las funciones principales de evaluar las condiciones de tendencia, comparar de manera transversal sitios de interés nacional o internacional ya sea el caso de estudio, evaluar las metas y/u objetivos de las políticas, proveer información preventiva que permita tomar decisiones antes de llegar a presentar situaciones de gravedad. (Prieto, Prieto, & QAcavedo, 2013)

Además de las características mencionadas anteriormente los indicadores deben ser limitados en número, comprensible y manejados por cualquier tipo de persona, prácticos, fáciles de obtener y de medir y tener un alto porcentaje de inclusión, esto significa, debe ser propiedades que resuma otras cualidades; holísticos, en lo posible debe incluir la mayor

variación de situaciones previstas, por lo que es necesario incluir todo tipo de propiedades que sea posible, también se debe tener presente que no incluya una gran sensibilidad a los cambios climáticos y/o ambientales pero que contengan la suficiente información para que tengan la capacidad de detectar los cambios producidos en el uso y manejo de este recurso. (Prieto, Prieto, & QAcavedo, 2013)

Por lo tanto se han realizado listas de indicadores de uso global, donde se han tratado de contemplar todas las situaciones que se pueden llegar a presentar en el mundo, pero también se han desarrollado listas más específicas según la región. (Prieto, Prieto, & QAcavedo, 2013)

5.3.2 Conjunto Mínimo de Datos e Indicadores

Dado que es no es práctico medir cada propiedad de los ecosistemas o del suelo, los investigadores se han propuesto un conjunto de datos mínimos, que es el conjunto más pequeño de las propiedades del suelo. La identificación de las propiedades claves del suelo que son sensibles a los cambios se establecen en la Tabla 3, donde se muestra la relación de cada indicador con lo concerniente a salud del suelo. (USDA, 2001)

Indicador	Relación con la salud del suelo
Físicas	
Granulometría y textura	Retención y transporte de agua y nutrientes, habita para microbios.
Densidad aparente	Movimiento del agua, porosidad
Químicos	
pH	Disponibilidad biológica y de nutrientes
Materia orgánica del suelo (MOS)	Fertilidad del suelo, estabilidad, estructura, retención de nutrientes, erosión del suelo y capacidad de retención de agua
Biológicos	
Presencia de micro biota	Condiciones favorables del suelo para el desarrollo de microorganismos

Tabla 3. Ejemplo de conjunto mínimo de datos de indicadores de calidad del suelo
(Fuente: Adaptado de Doran et, al, 1996, Larson and Pierce, 1994; Seybold et al, 1997)

Un conjunto mínimo de datos no puede abarcar todas las propiedades relevantes para un país, región o sistema agrícola. Solamente se presenta un ejemplo de un conjunto mínimo de indicadores necesarios para obtener una comprensión general de los suelos evaluados.

Cada conjunto mínimo de datos se debe adaptar a una determinada de región o mapa de suelo de la región (tipo de suelo), y solo representan las propiedades correspondientes a los tipos de suelos, sistema de cultivo y usos del suelo del área de interés. Por ejemplo, un conjunto mínimo de datos para el Noreste de los Estados Unidos, probablemente no incluiría indicadores como la acumulación de sal y la conductividad eléctrica, pero para zonas áridas y semi áridas se incluirán estos indicadores. (USDA, 2001)

5.3.3 Metodología del Indicador

Existen varias metodologías para plantear un indicador pero en este caso describiremos los pasos que han sido mencionados por Cecilia Wong, 2014, que nos indica los siguientes pasos:

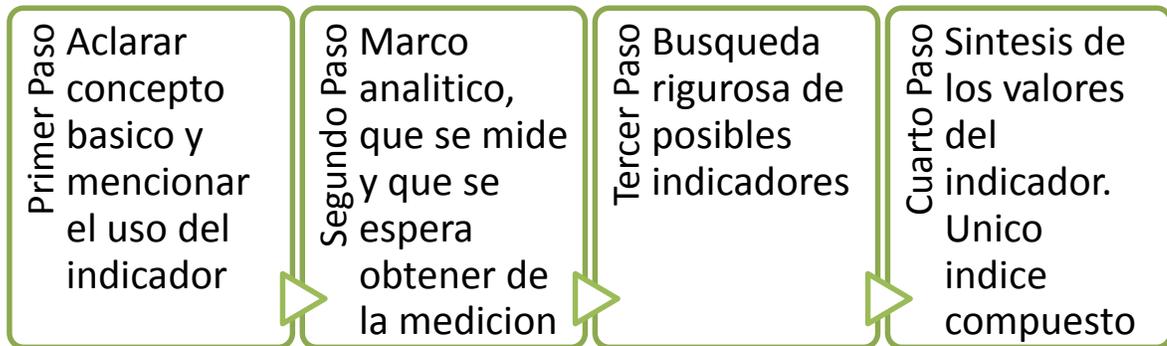


Figura 4. Metodología del indicador
Fuente: (Wong & Michalos, 2014)

5.3.4 Área de muestreo.

Con relación al área donde se realizó la recolección de la muestra es importante mencionar las características y las menciones indicadas por el señor Luis Pacheco, propietario del área de recolección de las muestras y conocer la intervención que se realiza en el área de interés para relacionar los posibles valores obtenidos y analizar el porqué de ese valor; por lo que tenemos la siguiente información:

- La extensión del terreno corresponde a 15 Fanegadas (Fg) o en el sistema métrico corresponde a 9.659 Hectáreas (Ha)
- Se poseen en el terreno 16 cabezas de ganado, entre las que tenemos Normandas, Jersey y Holstein, para la irrigación de los cultivos y la hidratación de los animales se toma agua del Rio Curubital, que se encuentra aledaño al terreno.
- Tenemos cultivos de papa blanca a la cual se cosecha cada seis meses, cultivos de papa criolla que se cosecha cada 4 meses y medio y por último tenemos cultivos de fresa a la cual cosecha cada 3 meses.
- Se realiza fumigación del terreno cada 15 días con los siguientes productos; antracol, raizal, engeo y curacron

Para mostrar el área de donde se tomaron las muestras se relacionan la imagen de google earth para relacionar la ubicación de las muestras y sus respectivas coordenadas.

Tabla 4. Coordenadas toma de muestras

Coordenadas de muestras	
Cultivo	Control
4°21'36.16"N 74°8'2.76"O	4°21'35.48"N 74°8'5.86"O
4°21'35.36"N 74°8'2.18"O	4°21'35.89"N 74°8'5.27"O
4°21'34.33"N 74°8'3.51"O	4°21'34.79"N 74°8'5.11"O
4°21'35.14"N 74°8'4.19"O	4°21'35.01"N 74°8'4.71"O



Ilustración 5. Ubicación de muestreo

5.3.4.1 Recolección de Muestra

Para la recolección de las muestras de suelo en la vereda Curubital de la localidad de Usme, en la ciudad de Bogotá, se siguió el siguiente procedimiento que se mencionara y se mostraran las ilustraciones que permitan reconocer de manera visual los pasos seguidos:

- Diferenciar el área de muestreo: Se deberá realizar una división del terreno de manera uniforme. Tanto las diferencias naturales como ser relieve, la erosión, el color, la vegetación y las diferencias de manejo como ser tipo de labranza, fertilizaciones, rotaciones, tipos de cultivo; deben ser tenidas en cuenta.



Ilustración 6. Área de Cultivo (Muestra)
(Fuente: Autor)



Ilustración 7. Área de muestreo (Control)
(Fuente: Autor)

- Frecuencia: La frecuencia que se tendrá para la recolección de las muestras es de una única muestra, para mantener las condiciones uniformes en cada una de las propiedades que se determinaran.
- Materiales a usar: Se usara una bolsa de plástico resistente, balde o contenedor impermeable donde ir colocando las distintas sub muestras.

- Profundidad – Condiciones de humedad: Nunca se debe tomar la muestra luego de una lluvia o riego abundante. Esperar siempre entre 2 y 3 días. Cuando el suelo se encuentra cercano a la capacidad de campo es cuando la extracción de la muestra se facilita. O sea el suelo debe estar húmedo, pero no saturado ni barroso. Debido a que el suelo que se va a recolectar es de un cultivo, se recolectara hasta 30 cm a partir de la superficie.
- Procedimiento: Luego que se establecieron las zonas homogéneas, se procede a obtener una muestra de cada una de ellas.
 - ❖ Se recolectaran el promedio 10 sub muestras.
 - ❖ El recorrido a efectuar para la recolección de la muestra sepa en Zig – Zag, que se muestra en la ilustración 8, 9 y 10.
 - ❖ Para la extracción de la muestra en cada punto elegido, se deberá eliminar la cobertura vegetal, limpiando la superficie, que se muestra en la ilustración 11.
 - ❖ Con la pala realizar un corte en V, hasta los 30 cm y recoger la muestra, que se relaciona en la ilustración 12.
 - ❖ Obtener un peso final de aproximadamente 500 g por cuarteo de la muestra, del siguiente modo: colocar el material desmenuzado sobre una lona o plástico limpio y mezclar tirando de las esquinas opuestas, alternando las diagonales, luego dividir en 4 partes, de las cuales se guarda 1, volver a mezclar y repetir el cuarteo hasta llegar al tamaño final indicado.



Ilustración 8. Identificación de puntos de muestro
(Fuente: Autor)



Ilustración 9. Área de muestro
(Fuente: Autor)



Ilustración 10. Metodología de Zig-Zag
(Fuente: Autor)



Ilustración 11. Limpieza del Terreno
(Fuente: Autor)



Ilustración 12. Recolección de muestras
(Fuente: Autor)

Embalaje – Identificación – Conservación: Envasar las muestras en bolsas de plástico grueso o en bolsas de papel especiales para suelos. Importante conservar la muestra en nevera. (Bolsa de comercio de Rosario: complejo de laboratorios, 2016)

5.3.5 Aspectos Relacionados con la obtención de datos.

Para la obtención de las propiedades de la muestra de cultivo y para la muestra de control se realizaran laboratorios en la Universidad ECCI, que se encuentran en la Sede P, en el sexto piso, donde se tendrán las instalaciones para el desarrollo de los parámetros físicos, químicos y biológicos de nuestras muestras.

Este importancia recordar que los identificación de estos parámetros en nuestras muestras de suelos, se tendrá el acompañamiento del Director de Tesis, involucrando a los asistentes de laboratorio.

5.3.6 Determinación de las Propiedades Físicas.

Para obtener nuestras muestras en el área de interés. Para la determinación de las propiedades físicas de nuestras muestras se utilizaran las siguientes metodologías:

- Para la determinación del color se usara la metodología de las tablas Munsell, para determinar la textura se utilizara la metodología de Bouyoucos, la determinación de la porosidad se realizara de manera indirecta con relación a la densidad aparente, también para la determinación de la densidad aparente se hará indirectamente con relación a la textura y para la determinación de la granulometría se realizara la determinación por análisis de secado como lo menciona Cortez, 2014.

5.3.7 Determinación de las Propiedades Químicas

Para la determinación de las propiedades tendremos una donde se realizaran la determinación de los parámetros químicos de manera mecánica en laboratorio:

- Para la determinación del pH, se realizara la metodología descrita por la AS-02 NOM-021-RECNAT-2000, para la determinación del porcentaje de carbono orgánico, de manera indirecta con metodología de la FAO con respecto al color y a la clase textural, para la determinación de acidez intercambiable como el AI, se utilizara el protocolo 4, de la Universidad Sergio Arboleda, de la Escuela de Ciencias Exactas e Ingeniería, de las Guías de laboratorio de las Cuencas de la Tierra y el Suelo; determinación de acidez activa e intercambiable.

5.3.8 Determinación de las Propiedades Biológicas.

Para la determinación de las propiedades biológicas se utilizara la técnica del número más probable, para realizar el conteo de la cantidad de heterótrofos en nuestra muestra de suelo, realizando el cultivo de nuestras muestras en cajas de Petri, y dejándolo incubando durante un periodo de tiempo para conocer las UFC y las morfometrias que se puedan presentar en nuestras muestras.

5.4 Ejecución del Diseño Metodológico.

De acuerdo con la ejecución de nuestro diseño metodológico, es necesario realizar el cumplimiento de nuestros objetivos por lo cual se va a ejecutar el cumplimiento de nuestro planteamiento, para así tener como resultado final el último objetivo que es la construcción de un indicador de contaminación orgánica, pero para llegar a eso comenzaremos primero con la medición Ex situ de los parámetros de nuestros suelos por lo que se describen en la Tabla 5:

Determinación de Propiedades Ex situ		
Físicas	Químicas	Biológicas
Color	pH	Conteo de heterótrofos
Textura	Acidez Al	
Porosidad	%CO	
Densidad		
Granulometría		

Tabla 5. Determinación de propiedades en suelo
(Fuente: Autor)

Después de terminar de realizar la determinación de las propiedades de los suelos, se procede a realizar se procederá a realizar los análisis de los datos que obtenemos en laboratorio, para luego realizar la evaluación de estos datos y poder realizar la clasificación

frente a los indicadores de calidad del suelo, para conocer su estado, para así por último comenzar el planteamiento del modelo matemático.

5.4.1 Procedimiento.

Una vez realizada la recolección de las muestras de suelos se procede a realizar el procedimiento para la determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos que nos permitirá el cumplimiento de nuestro primer objetivo, el cual realizamos cada una de las grandes propiedades en un determinado tiempo, según la disponibilidad del laboratorio.

5.4.1.1 Propiedades físicas

5.4.1.1.1 Color

Para la determinación del color se utilizó la metodología de las cartas de color Munsell, de la siguiente manera (Florez & Alcalá, 2010):

- Se toma una muestra de suelo secada al aire (control y muestra).
- Se colocó en una hoja de color blanco.
- Se comparó el color de la muestra con el de las tablas estándar, hasta obtener las propiedades del color: matiz, brillo e intensidad cromática.
- Luego se humedece la muestra de suelo en la hoja blanca y se compara nuevamente con las tablas.
- Se reporta el color en suelo seco y húmedo



Figura 5. Tablas Munsell
(Fuente: Geological Society of America)

5.4.1.1.2 Textura

Para la determinación de la textura se método de Bouyoucos, que consiste en (McKean, 1993), este procedimiento se realizó tanto para la muestra como para nuestro control:

- Se pesaron 40 g de suelo en un Erlenmeyer.
- Agregando 50 ml de la solución dispersante ((NaPO₃)₆/Na₂CO₃)
- Se dejó reposar durante 10 minutos
- Se agregaron 100 ml de agua y se mezcló por 10 minutos
- Se pasó todo el contenido a un tubo de ensayo y con el hidrómetro en el tubo se aforo hasta 1000 ml.
- Se agito durante un espacio de 20 segundos con una varilla en forma de pistón y se introdujo el hidrómetro. Se utilizó alcohol isoamilico debido a que se produjo espuma en ambos ensayos (muestra y control)
- Se tomó registro del hidrómetro a los 40 segundos, corrigiendo la lectura en base a la temperatura de la suspensión con relación a la tabla 6.
- Se vuelve a tomar lectura del hidrómetro a las 2 horas, corrigiendo la lectura con base a la temperatura.

Nota: Se recuerda que es necesario la utilización de un blanco como punto de comparación para las mediciones.

Temperatura °C	Factor de corrección
14	-1.46
16	-0.98
18	-0.44
19.44	0.00
20	+0.18
21	+0.52
22	+0.86
23	+1.23
24	+1.61
25	+2.00
26	+2.41
27	+2.85
28	+3.28
29	+3.74
30	+4.20

Tabla 6. Factores de corrección en base de la temperatura de suspensión
(Fuente: McKean, 1993)

5.4.1.1.3 Porosidad

La porosidad del suelo se determinó indirectamente, con relación a la densidad aparente, donde podemos mencionar que la densidad aparente; es la relación entre la masa seca al horno de las partículas del suelo y el volumen total, incluyendo el espacio poroso que ocupan. Permite estimar el grado de compactación cuando se conoce la porosidad del suelo.

Los suelos poseen naturalmente diferentes densidades debido a las variaciones de textura, de la porosidad y del contenido de materia orgánica, sin embargo la densidad y la porosidad del suelo son características que pueden variar en función del tipo y de la intensidad de labranza, siendo por eso buenos indicadores de lo adecuado de los sistemas de labranza del suelo, indicando la mayor o menos compactación que estos promueven. (UNAD, 2017)

Podemos ver que la densidad aparente, aumenta de estructura migajosa o granular a primatica, columnar, laminar o masiva, porque en este sentido disminuye el volumen ocupado por la fase porosa.

La compactación (debido al pisoteo de animales, al laboreo, las precipitaciones, etc.) disminuye el volumen de los poros, incrementando, por tanto el peso por unidad de volumen. La pérdida de materia orgánica puede incrementar el peso del suelo de dos formas: a) la materia orgánica es más liviana que la mineral, b) su disminución se encuentra por lo general asociada a reducciones en el volumen total de poros. Por lo que la densidad aparente en cierto sentido refleja el estado del espacio poroso, como se observa en la tabla 7; (Mendoza, 2016)

DA	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
Poros	63	59	56	52	48	45	41	37	33	30

Tabla 7. Relación entre la DA (g/cm³) y porosidad (%)

(Fuente: (Mendoza, 2016))

Con relación a esta tabla se puede determinar de manera indirecta la porosidad del suelo con respecto a la densidad aparente.

5.4.1.1.4 Densidad Aparente

Si no se dispone del dato de densidad aparente, es posible obtener este dato de manera indirecta por medio de la textura. Si el único dato que tenemos es la clase textural del suelo es posible ofrecer una aproximación del valor de la densidad aparente mediante el empleo de la siguiente tabla de la USDA. NRCS en la que se expresan los valores de densidad aparente. (UPM, 2017)

Clases Texturales	DA (g/cm ³)
Arena (Sands)	1.70 – 1.80
Arena gruesa (Coarse sand)	1.60 – 1.70
Arena y arena fina (Sand and fine sand)	1.55 – 1.65
Arena franca (Loamy sands)	1.60 – 1.70
Arena franca gruesa (Loamy coarse sand)	1.55 – 1.65
Arena franca, arena franca fina (Loamy sand, Loamy fine sand)	1.55 – 1.60
Franco arenosa (Sandy loams)	1.55 – 1.60
Franco arenosa gruesa (Coarse Sandy loam) Franco arenosa y franco arenosa fina (Sandy loam fine Sandy loam)	1,50 – 1,60
Franco arenosa muy fina (Very fine Sandy loam)	1.45 – 1.55
Franca y franco limoso (loam and silty loam)	1.45 – 1.55
Limo (Silt)	1.40 – 1.50
Franco Arcillosa (Clay loam)	1.40 – 1.50
Franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa (Sandy clay loam silty clay loam)	1.45 – 1.55
Arcilla arenosa (Sandy clay)	1.35 – 1.45
Arcillosa limosa (silty clay)	1.40 – 1.50
Arcilla (Clay 35-50%)	1.35 – 1.45
Arcilla (50-65%)	1.25 – 1.35

Tabla 8. Clases texturales y densidad aparente (g/cm³)

Fuente: (Adaptado de USDA, 2016)

Con la anterior tabla 8 se puede determinar la densidad aparente con relación a la clase textural que se presente en el suelo.

5.4.1.1.5 Granulometría

La finalidad es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en las muestras de suelo, por lo que se realizó un análisis granulométrico por secado, de la siguiente manera (Cortez, 2014):

- Primero se pesó el recipiente a utilizar para la muestra.
- Luego se agregó la muestra de manera vertical y en caída libre en el recipiente para ser pesado y luego llevado al horno, por 24 horas.

- Se retiró la muestra del horno y se deja enfriar al aire libre, luego pesamos la muestra para determinar el contenido de humedad del material.
- De la muestra lavada ya extraída del horno, pesamos 400 g para el tamizado
- El material se colocó en la parte superior de la serie de tamices, luego se agito, en este proceso se tuvo cuidado en no perder el material
- Luego del tamizado se procedió a pesar el material retenido en cada malla y se anotaron los datos.

5.4.1.2 Propiedades Químicas

5.4.1.2.1 pH

Para este parámetro se usó el procedimiento estipulado por AS-02 NOM-021-RECNAT-2000, de la siguiente manera:

- Se pesaron 10 g de suelo en un vidrio de reloj.
- Se agregó 20 ml de Dicloruro de Calcio al 1N en un vaso de precipitado donde estaba contenido el suelo.
- Con una varilla de vidrio, se agito manualmente la mezcla de suelo: Dicloruro a intervalos de 5 minutos, durante 30 minutos.
- Se dejó reposar durante 15 minutos.
- Se agita nuevamente la suspensión y se introdujo el electrodo en la suspensión.
- Se registró el pH, para ambas muestras. (Sermanat, 2016).

5.4.1.2.2 % Carbón Orgánico

Para este parámetro se usó una metodología de determinación indirecta, una guía de descripción de los suelos de la FAO; donde nos menciona que el contenido de materia orgánica de los horizontes minerales se puede estimar mediante el color del suelo seco y/o húmedo en la tabla Munsell, tomando en cuenta la clase textural. Esta estimación se basa en la suposición de que el color del suelo es debido a la mezcla de sustancias orgánicas de color oscuro y minerales de color claro. (FAO, 2009)

Por lo que para determinar este parámetro de manera indirecta se utiliza la tabla 9 como guía práctica;

Color	Valor Munsell	Suelo Húmedo			Suelo seco		
		A	AF, FA, F	FL, L, FYL, FY,FYA,YA, YL, Y	A	AF, FA, F	FL, L, FYL, FY,FYA,YA, YL, Y
%							
Gris Claro	7				<0.3	<0.5	<0.6
Gris Claro	6.5				0.3-0.6	0.5-0.8	0.6-1.2
Gris	6				0.6-1	0.8-1.2	1.2-2
Gris	5.5			<0.3	1-1.5	1.2-2	2-3
Gris	5	<0.3	<0.4	0.3-0.6	1.5-2	2-4	3-4
Gris Oscuro	4.5	0.3-0.6	0.4-0.6	0.6-0.9	2-3	4-6	4-6
Gris Oscuro	4	0.6-0.9	0.6-1	0.9-1.5	3-5	6-9	6-9
Gris Negro	3.5	0.9-1.5	1-2	1.5-3	5-8	9-15	9-15
Gris Negro	3	1.5-3	2-4	3-5	8-12	>15	>15
Negro	2.5	3-6	>4	>5	>12		
Negro	2	>6					

Tabla 9. Estimación del contenido de materia orgánica basado en el color del suelo tabla Munsell

Es importante mencionar que si el croma esta entre 3.5-6, adicionar 0.5 al valor; si el croma por lo contrario es mayor a 6, adicionar 1.0 al valor final, para reconocer las clases texturales se relaciona sus abreviaciones; en la tabla 10.

A: Arenosa	
AF: Areno Francoso	F: Franco
FA: Franco Arenoso	L: Limoso
FYA: Franco Arcilloso Arenoso	YA: Arcilloso Arenoso
FL: Franco Limoso	YL: Arcilloso Limoso
FYL: Franco Arcillo Limoso	Y: Arcilloso
FY: Franco Arcilloso	YP: Arcilla Pesada

Tabla 10. Clases Texturales

Fuente: (FAO, 2009)

Con la información anterior se puede determinar el porcentaje de materia orgánica, con relación al color y a la clase textural.

5.4.1.2.3 Acidez Aluminio

Para la determinación de este parámetro se usó el protocolo 4, de la Universidad Sergio Arboleda de las guías de Ciencias de la tierra y el suelo, determinación de acidez activa e intercambiable, de la siguiente manera:

- Se pesaron 10 g de suelo.
- Se llevaron a Beaker de 100 ml y se agregó 30 ml de Cloruro de Potasio al 1N.
- Se mantuvieron las muestras tapadas y en agitación constante por un periodo de 10 minutos.

- Luego de retira de agitación se filtró la solución mediante vacío y se lavó el residuo con Cloruro de Potasio de exceso hasta aforar a 100 ml.
- Se realizó la valoración de acidez mediante valor ante de Hidróxido de Sodio al 0.1N estándar, se utilizó como reactivo indicador al punto de equivalencia 4 gotas de fenolftaleína.
- Se tuvo como referencia el color de la solución original, hacia un rosa pálido.

5.4.1.3 Propiedades Biológicas

5.4.1.4.1 Procedimiento para la determinación de Heterótrofos.

Para la determinación de los microorganismos presentes en las muestra se realiza la técnica del número más probable que consiste en realizar un tren de dilución hasta 10^{-9} ; es importante contar con el material que se encuentre limpio y esterilizado, para un óptimo crecimiento de nuestras microorganismo de nuestros suelos. Se contó con 9 tubos de ensayo de tapa rosca, los cuales deben ser puestos en el autoclave a una temperatura de 125°C por 15 minutos para asegurar la esterilidad en los mismos; luego de tener los elementos esterilizados se procede a realizar el peso de nuestras muestras de suelo por que tomamos 10 g de suelo de cada muestra y procedemos a agregarlo a 90 ml de NaCl al 0.85% P/V. previamente preparados, lo dejamos en agitación durante una hora. Luego de poner en agitación nuestras muestras procedemos a rotular los tubos de ensayo con A/N desde la notación 10^{-1} hasta 10^{-9} para evitar una confusión en el procedimiento; se realizan dos veces una para nuestra muestra de control y otro para nuestra muestra. Adicional es necesario contar con agar SPS, pero por temas de contaminación, no se cuenta con lo suficiente para poder realizar los medio de cultivo por lo cual pasamos a preparar agar nutritivo preparado, también usamos cajas de Petri, pipetas y pipeteadores y un mechero.

Los materiales de laboratorio al momento de ser usados se deben pasar por la llama de un mechero encendido para reducir el riesgo de contaminación; se toma un mililitro de la muestra y se diluye en el tubo marcado como 10^{-1} , se agita la mezcla y se toma de este tubo un mililitro para ser agregada en el tubo 10^{-2} ; del tubo 10^{-2} se pasa un mililitro de muestra al 10^{-3} y así sucesivamente se repite hasta el tubo 10^{-9} ; es importante mencionar que toda operación de traspaso de tubo a tubo y de siembra en las cajas de Petri se realiza cerca al mechero.

Una vez finalizado el tren de dilución se toma las cajas de Petri rotuladas y se agrega 0.1 mililitro de la dilución correspondiente a los tubos 10^{-3} , 10^{-6} , 10^{-9} , para cada caja de Petri.

Por último cada caja de Petri se sella con cinta pegante por el borde y se envía a la incubadora a una temperatura de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, inicialmente el tiempo de incubación es de 24 horas, se va al día siguiente para ver el crecimiento de estos, pero no se observa gran crecimiento por lo que se discute con el Director de Tesis, dejarlo por un periodo de 72 horas para el crecimiento de heterótrofos.

Para el conteo de heterótrofos se cuentan las unidades formadoras de colonia (UFC) y la cantidad de morfotipos que representa la muestra más significativa que para ambos casos sería la de 10^{-6} , pero por accidente ocurrido en el laboratorio se toma para nuestra muestra el conteo de 10^{-6} , pero en cambio para nuestra muestra de control se tuvo que tomar el conteo de 10^{-9} , por fuerzas mayores.

6. Resultados

Para los resultados y realizar el análisis y la evaluación de los datos arrojados, producto de las pruebas físicas, químicas y biológicas obtenidas por el autor de este documento, se obtuvo los siguientes análisis y evaluación de la calidad del suelo, para tener como base la construcción de un indicador de carga orgánica.

Para cada una de las propiedades que se obtuvieron en el laboratorio, se encontró en los resultados que no presentamos grandes variaciones entre algunas de las propiedades, pero esas pequeñas diferencias nos indican que si se ha presentado un cambio en la calidad del suelo de muestra, ya sea por la producción agrícola que se tiene en el área, o por los componentes que se han usado para ayudar al mejoramiento de la producción, por esto es necesario realizar los análisis de los resultados obtenidos para lograr una comparación con los parámetros de calidad ambiental establecidos y así poder elaborar una evaluación de la calidad del suelo con base en los parámetros de comparación de nuestro control, que por encontrarse en un área cercana a nuestra muestra, debería poseer características similares. Por lo que se muestra a continuación el resultado de los análisis correspondientes para nuestros resultados para nuestra muestra de suelo y nuestro control del suelo, para poder realizar la interpretación más factible y que se encuentre reportada a nivel mundial, quiere decir que se tenga una misma interpretación de los resultados obtenidos y que tengan la misma relación en diferentes partes del mundo, ya que se comparen con resultados estándar de que significa cada obtención de resultado.

6.1 Análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio.

Se realiza la revisión de la bibliografía, para tener un conocimiento que tenga bases y se haya tomado la tarea de demostrar que los resultados arrojados por obtención de laboratorio, se recuerda que debido a que la construcción del indicador se va a realizar con base al color, arcilla y % de Carbón Orgánica, se realizara más énfasis en la descripción de estos;

6.1.1 Lectura de las Muestras.

La lectura de las muestras se llevará a cabo en los laboratorios de microbiología, de química, de física de la Universidad ECCI. En el primer caso se la cantidad de heterótrofos en las muestras de suelos, en la segunda parte en los ensayos de laboratorio se obtienen los resultados de pH, % de Carbón Orgánico y acidez de aluminio, en el tercer caso, se obtienen los resultados de color, textura, porosidad, densidad y granulometría.

Los resultados obtenidos para los diferentes parámetros se relacionan en las siguientes tablas, figuras y ecuaciones de obtención:

6.1.1.1 Color.

Para la determinación del color se usó el sistema Munsell, donde nos presenta una alusión a tres coordenadas de ubicación para el color donde podemos encontrar, como lo es el matiz (hue), este nos permite conocer la composición cromática de luz que es capaz de percibir nuestro ojo; claridad (Value), este nos indica la intensidad lumínica y/u oscura de un color con base en a una escala de gris neutro; y pureza (Chroma), que nos permite conocer el grado de saturación del gris neutro por el color del espectro. (Ovalles, 2003)

Muestra	Matiz (Hue)	Claridad (Value)	Pureza (Chroma)
Seca (S)	5YR	2.5	1
Húmedo (H)	7.5YR	2.5	1

Tabla 11. Color de la muestra de suelo
(Fuente: Autor)



Ilustración 13. Representación del matiz, muestra
(Fuente: Autor)

Muestra	Matiz (Hue)	Claridad (Value)	Pureza (Chroma)
Seca (S)	5YR	4	2
Húmedo (H)	5YR	3	3

Tabla 12. Color del Control del Suelo
(Fuente: Autor)

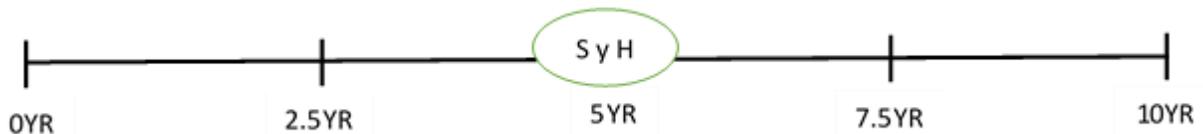


Ilustración 14. Representación del matiz, control
(Fuente: Autor)

Como podemos ver el color es una propiedad que se puede identificar de manera fácil, debido a que se puede contemplar con la observación, podemos encontrar una gran variedad de espectros de colores en el suelo, debido a que los matices pueden atribuirse a los componentes específicos del suelo, esto nos puede permitir realizar la clasificación del suelo y con esto podemos tener una idea de la composición de minerales y materia orgánica, sobre las condiciones como reacciones redox y la humedad del suelo, donde podremos ver su distribución e intensidad. Por esta razón es una propiedad importante en

la descripción de un estudio edafológico. Por lo que podemos observar que esta propiedad se relaciona la figura 6, donde se describe el color según la clasificación Munsell, donde el matiz (hue), se encuentra en el círculo de color de Newton, la pureza (chroma) de cada tono es el radio, y la intensidad (value) el valor se encuentra en el eje. Pero aun así se necesitan métodos más elaborados para realizar análisis espectral, para identificar el color con una mayor precisión y más claridad con métodos que tenga un porcentaje más alta de confiabilidad, debido a que la comparación del suelo en una tabla Munsell, puede presentar una subjetividad al momento de realizar la identificación de los valores correspondientes en el eje del color, debido a que la clasificación visual por el rango de luz visible, se caracteriza por los parámetros anteriormente mencionados.

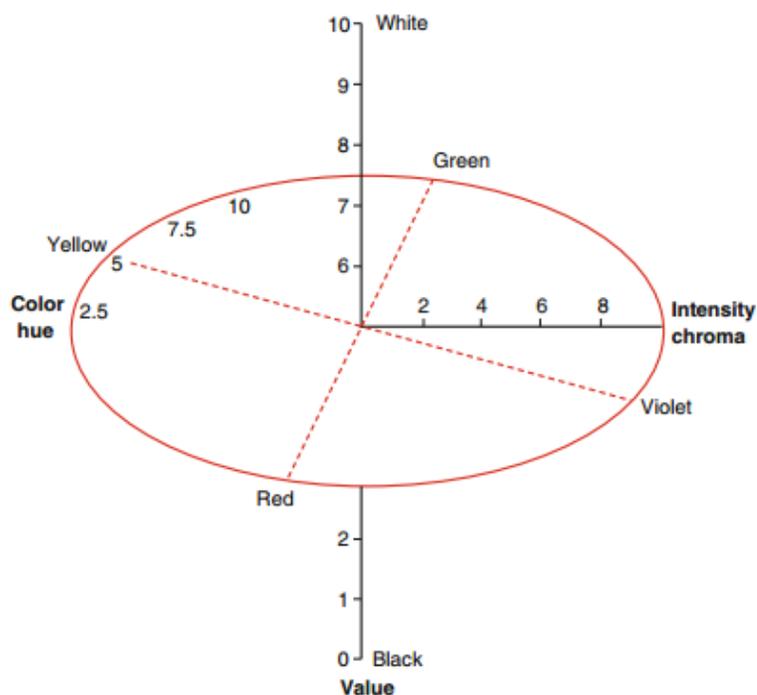


Figura 6. Descripción del color
(Fuente: Soils Book)

Para la representación en la figura en la dirección de la frecuencia donde se presenta un aumento, encontramos que se divide en secciones de colores donde podemos encontrar el color rojo (R), amarillo (Y), verde (G), azul (B) y violeta o purpura (P), pero también podemos encontrar zonas de transición para estos colores elementales entre los cuales podemos ver marrón rojizo oscuro o gris rojizo oscuro. (Blume, y otros, 2016). Para cada

zona podemos encontrar que se encuentra descrito usando números de 2.5, 5, 7.5 o 10; donde representan el aumento del matiz; donde el valor se representa en una gráfica en un recta lineal que atraviese el círculo cromático, por el valor máximo (máxima reflexión, blanco) se define que el valor se encuentra en una escala de 10, y cuando se completa la absorción de la luz visible (negro) se caracteriza con el número 0.

Para este parámetro como lo podemos observar en la tabla 11 y 12 que corresponden a las coordenadas obtenidas para nuestra muestra y control respectivamente, cuando nos remitimos a la tabla Munsell podemos encontrar que para ambos casos para nuestra muestra nos reporta un color negro, y para nuestro control obtenemos una transición de estos elementos donde tenemos que para la muestra seca obtenemos un color gris rojizo oscuro y en húmedo encontramos un color marrón rojizo oscuro.

El color que nos indica la muestra en seco corresponde a negro y el color correspondiente a la muestra en húmedo es negro. (Munsell Color, 2012), como en ambos caso presentamos un color negro la bibliografía nos muestra que este pueden significar que es la incorporación de la materia orgánica que se descompone en humus y este es el factor principal que brinda una coloración negra, este color se ha asociado con que el suelo cuenta con altos niveles de materia orgánica, lo que significa que posee buenas condiciones de fertilidad, donde podemos encontrar cationes como Ca^{2+} y Mg^{2+} y K^+ ; además de esto también se le asocia que posee otras condiciones físicas relacionadas con la materia orgánica, como lo es una buena estructura en el suelo y con gran actividad biológica; por lo que podemos evidenciar que este color en general puede relacionarse con la presencia de:

- Carbonatos de Ca^{2+} o Mg^{2+} más materia orgánica altamente descompuesta
- Otros cationes (Na^+ , K^+) más materia orgánica altamente descompuesta (Ovalles, 2003)

Pero por otra parte encontramos que matices negros, grises y marrón que son las tonalidades que presenta nuestras muestras, por lo tanto esto puede significar que la coloración se da principalmente por sustancias húmicas, la intensidad del color puede encontrarse entre 2% y 6% de masa de la materia orgánica que varía debido a la presencia

de carbono y otros factores, como puede ser la humedad del suelo que entre más húmedo lo encontremos mostrara una tonalidad oscura, la textura, cuando encontramos suelos ricos en arcilla contienen más humus con el mismo color, y el carbono orgánico disuelto, también se debe considerar. Pero debido a que nuestra muestra no solo arrojó los colores anteriormente mencionados, también podemos encontrar que nuestra control debido a que no se encuentra intervenido presenta también fracciones de sustancias húmicas, que a su vez, el color va tendiendo a más oscuro de los ácidos fulvicos a los ácidos húmicos. Esto se puede deber a que los colores como amarillos, marrones, rojos, azules y verdes presenta diferentes minerales de hierro (Fe), debido a que estas coloraciones son comunes debido a la dominación de hierro en suelos (minerales, rocas). Pero también se debe tener en consideración que estos atributos, también influye el clima y para climas templados podemos encontrar suelos con color amarillento marrón, marrón o rojizo en colores, como podemos ver que presenta nuestra muestra de control que presenta colores rojizos y marrón, y esto puede deberse a que la goethita la cual se relacionan sus propiedades en la tabla 13, (es un mineral de tipo hidróxido y grupo indeterminado, (Minerales de Colección, 2016)), también podría encontrarse presencia de ferrihidrita, que significaría que se pueden encontrar en Cambisoles. Como también presentamos una coloración gris en nuestro control se puede asociar debido a que el hierro se encuentra en forma divalente móvil a valores de bajo potencial redox, y es entonces transportado/translocado o convertido en sus correspondientes hidróxidos, la translocación o desplazamiento del hierro revela entonces el color inherente de los otros minerales; por lo que podemos encontrar que el cuarzo parece ser de un color blanco pálido, y los silicatos y las arcillas también parecen ser grises. Por lo anterior podemos llegar a decir que nuestra muestra por presentar color negro, podemos deducir que se encuentra en altos contenido de humus, debido a que es un suelo que se usa para agricultura, y por otro lado encontramos que nuestro control, presenta varios matices en transición pero esto podemos decir que se debe a su rica presencia de minerales debido a que es un suelo que se encuentra sin intervención humana y mantiene sus procesos naturales.

Propiedades Goethita	
Dureza	5 – 5.5
Densidad	4.3
Raya	Parda Amarillenta
Color	Marrón
Brillo	Submetalico
Exfoliación – Fractura	Perfecta
Cristalización	Ortorrómico
Transparencia	Traslucido a opaco

Tabla 13. Propiedades Goethita
(Fuente: Tienda Minerales, 2016)

Pero para esta parte debido a que también existe una correlación entre el color, las propiedades del suelo y sus procesos, podemos encontrar que los colores asociados a las actividades del suelo, para nuestro caso el matriz marrón y rojo, indica normalmente que se presentan condiciones aeróbicas y un alto potencial redox, y también podemos encontrar un valor alto para humedad relativa, por lo que este colores pueden ser sinónimos de altas concentraciones de oxígeno y muy raramente presenta saturación de agua. (Blume, y otros, 2016)

6.1.1.2 Textura.

Para determinar la textura de nuestras muestras se utilizó el método de Bouyoucos, donde los valores que obtuvimos para ambas muestras se relacionan el porcentaje que se obtuvo en la tabla 14.

Composición	Muestra (%)	Control (%)
Arena	15	16
Arcilla	30	35
Limo	55	52
Clasificación	Franco arcilloso limoso	Franco arcilloso limoso

Tabla 14. Textura de las muestras
(Fuente: Autor)

Para determinar que porcentaje de textura presentan nuestras muestras se procede a realizar la ubicación de los porcentajes de composición en el triángulo de textura, para conocer que tipo de textura posee nuestra muestra y nuestro control.

Como primera consideración debemos tener presente que las partículas de arena, limo y arcilla son la principal estructura mineral del suelo. Tenemos que la composición de la estructura es la combinación o la distribución de las partículas, donde esta conformación tendrá una gran influencia en el movimiento del agua y del aire en el suelo, presentando gran influencia en la capacidad de sostener la vida y realizar otras funciones vitales para su desarrollo. (USDA, NRCS, 2008)

El material que constituye la fase sólida del suelo, generalmente no se encuentra siempre en la superficie de la litosfera, en forma continua, sino que la podemos encontrar en forma granular. Esto no solo aplica a los componentes inorgánicos, que están formados de fragmentos de rocas o de partículas minerales, sino que también lo podemos encontrar en los componentes orgánicos, que consisten casi exclusivamente o que se derivan de la descomposición de la materia vegetal. (Blume, y otros, 2016)

Como podemos observar en ambos casos podemos determinar que ambas muestras se ubican en una parte específica del triángulo, en la cual podemos determinar que nuestro suelo tiene una composición de textura Franco Arcilloso Limoso. (Usda, 2016)

La textura es uno de las primeras propiedades que se determina cuando se está realizando un estudio de campo en el suelo, se relaciona con la meteorización y el material parental, por lo que podemos encontrar variación de la textura entre los diferentes horizontes debido a su origen parental. Hay maneras de determinar directamente la textura en campo mediante el proceso de tacto, debido a que las partículas de arena son relativamente fáciles de sentir, y se realiza la estimación de limos y arcillas por la flexibilidad y pegajosidad, esto se realiza directamente en campo, ya que no existe un procedimiento mecánico que nos permita realizar esta comparación, pero es muy preciso si se cuenta con los dedos de un científico experimentado, para la determinación de los porcentajes que componen nuestro suelo, (USDA, 2016), pero para nuestro caso nosotros utilizamos un método mecánico para determinar las porcentajes de composición de nuestro suelo de manera mecánica. Para el caso de nuestro resultado realizamos la identificación en

laboratorio determinando los porcentajes de composición y utilizamos la herramienta de la USDA, "Soil Texture Calculator", que nos permitió ubicar nuestros datos en el triángulo de textura y este no dio como resultado que para nuestra muestra y nuestro control se encuentra ubicado en Franco Arcilloso Limoso.

Por lo que podemos encontrar que para ambos tenemos condiciones muy similares, por lo que podemos inferir que por encontrarse en la misma zona geográfica, por el desgaste y el material parental es prácticamente el mismo, encontramos unos cambios entre los datos que se obtuvieron para nuestras muestras, que pueden estar asociados a la intervención que se le ha dado al terreno por parte del agricultor y debido a la presencia de raíces de cultivo que puede llegar a tener cierta afectación en la estructura del suelo, por lo que podríamos explicar estos cambios, como se relaciona en la tabla 15, zona de enraizamiento efectivo, donde tenemos que Rz_e es Zona de enraizamiento efectivo, PAW es Disponibilidad de agua en la planta, $PAWRz_e$ es disponibilidad de agua en la planta en la zona de enraizamiento efectivo y AC es la capacidad del aire.

Textura del suelo y abreviación	Rz_e (dm)	PAW (%Vol.)	$PAW \cdot Rz_e$ (mm)	AC (% Vol.)
Arena Gruesa (Ag)	5	5	25	34
Arena Media (Am)	6	9	55	31
Arena Fina (Af)	6	11	65	29
Franco arenoso (Fa)	8	16	125	19
Limo arenoso (La)	11	20	220	13
Limo (L)	12	22	240	11
Franco Limoso (Fl)	11	18	200	12
Franco (F)	10	16	160	12
Franco Arcilloso Limoso (Farl)	10	17	170	11
Franco Arcilloso (Far)	10	14	140	12
Arcilloso (Ar)	10	12	120	5
Turba, paramo	2-4	50-60	100-240	10-25

Tabla 15. Zona de Enraizamiento Efectivo
(Fuente: Adaptado de Soil Science, 2016)

Podemos observar en la tabla 15 que nuestra textura en relación con las plantas cuenta con unos índices bastantes bueno en cuanto a la zona de enraizamiento, por lo cual si es bueno para un uso agrícola.

Podemos encontrar que entre los suelos Francos Arcillosos Limosos, poseen una relación estrecha con las plantas, pero estas propiedades se la debemos a la textura y que su composición cuenta con un porcentaje que permite que se encuentre poros para que se efectúe una buena comunicación entre el agua y el aire y el desplazamiento en el suelo.

Podemos decir que la textura Franco Arcillosa Limosa es una textura que tiene consistencia, pero que puede romperse a presión, es suave y no se adhiere a los dedos. (UChile, 2016), pero también puede presentar una textura suave fina, que se quiebra en terrones duros cuando estos están secos. (Chile, 2016). Por ultimo podemos decir que nuestro suelo en ambas muestras posee características francas, esto quiere decir que contiene menos del 25% de arcilla, por lo que se tratan de los suelos moderados para la práctica agrícola, para lo que en términos generales nuestros resultados nos arrojaron que posee más del 45% de limos, y entre el 15 y 25 % de arcilla, por lo que podríamos inferir que nuestro suelo de la vereda Curubital posee bastantes limitaciones para el uso que se le está dando debido a que su composición no es franca, para que posee las características ideales. (IGAC, 2014)

6.1.1.3 Porosidad.

Para determinar la porosidad se realizó el procedimiento de determinación indirecta con relación a la densidad aparente, que podemos encontrar que según la densidad aparente podemos decir que el rango del porcentaje de porosidad encontrado para nuestro suelos se encontrara en un rango dentro del 48% al 45%, dependiendo de la densidad que se encuentre en el suelo. (Mendoza, 2016)

La textura y la porosidad es el resultado del conjunto de estas partículas creando un espacio dentro del volumen del suelo para el agua y el aire, así como para las raíces y la fauna del suelo, desde los microorganismos hasta los micro invertebrados; por esta razón,

estas dos propiedades del suelo no únicamente inciden en todos los procesos biológicos en el suelo, sino que también en las interacciones entre las fases sólidas, líquidas y gaseosas, así como cualquier transporte y dislocación. (Blume, y otros, 2016)

Para entender esta propiedad, es necesario conocer cómo se genera el espacio poroso en el suelo y este en gran medida es definido por la mineralogía de los materiales que componen sus horizontes; para entender la composición volumétrica ideal de un suelo desde su parte mineral se muestra en la figura 7, donde la composición ideal de cada uno de los materiales descritos sería en el siguiente porcentaje, diferenciado por la parte sólida y fluida; Fase sólida (50%) que se encuentra los materiales minerales (>45%) y materiales orgánicos (<5%) y la Fase fluida (50%) se compone por agua (25%) y aire (25%). (Gisbert, Ibañez, & Moreno, 2016)

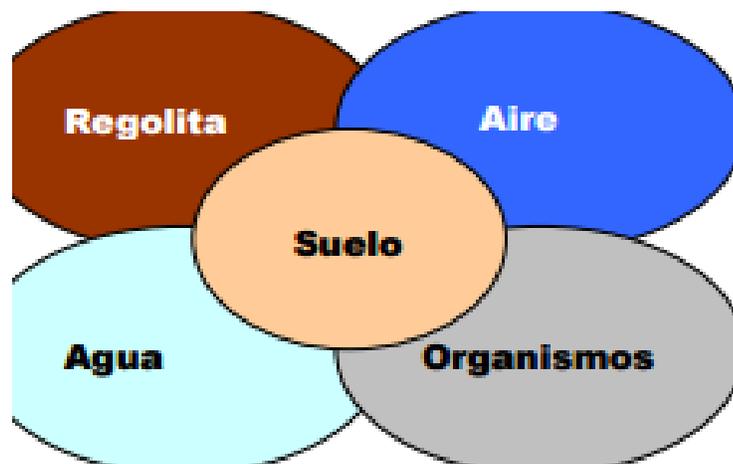


Figura 7. Composición del Suelo
(Fuente: Universidad Politécnica de Valencia, 2016)

Podemos encontrar que la fase sólida se origina por las partículas de rocas de diferentes tamaños procedentes del proceso de desgaste de las rocas originales y la parte orgánica la podemos ver por la descomposición de los residuos de animales y/o plantas; podemos encontrar que el tamaño estándar de las partículas es de 2 mm en cualquiera de sus dimensiones; pero como sabemos estas condiciones no se cumplen siempre debido a que los procesos de desgaste en cada zona es diferente; podemos encontrar rocas con mayor desgaste o con un desgaste menor, en las rocas que encontremos un mayor desgaste, encontraremos que el tamaño de las partículas será menor. Por lo que podemos llegar a inferir que el espacio poroso del suelo, está dado por los procesos de formación y evolución

del suelo, por lo que esta propiedad está influenciada por el tiempo y en la zona en que se encuentre. (Gisbert, Ibañez, & Moreno, 2016). En la figura 8, se relaciona un esquema del espacio poroso de las partículas, donde el tamaño de las partículas y su distribución es un factor que condiciona el tamaño; por lo que la distribución y la forma de los espacios; por lo que entre mayor tamaño de las partículas es directamente proporcional al tamaño del espacio poroso.

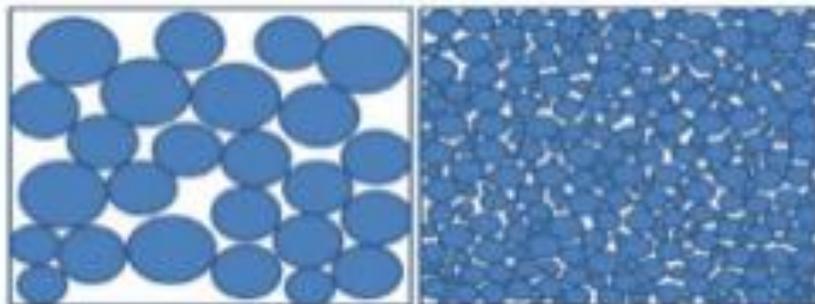


Figura 8. Esquema de Espacio Poroso
(Fuente: Universidad Politécnica de Valencia, 2016)

En general la porosidad es la sumatoria de los porcentajes de poros de diferentes tamaños; entre los cuales podemos encontrar:

- **Poros Grandes:** Podemos encontrarlos con un diámetro de 0.01 a 0.05 mm, donde la principal función de estos poros es la de ventilación y conducción de las raíces de las plantas; por tener un espacio poroso amplio, abastecen de Oxígeno y evacuan el Dióxido de Carbono; por esto se realiza la percolación del agua por fuerza gravitacional.
- **Poros Medios:** Se encuentran entre un diámetro de 0.0002 a 0.010 mm, estos poros presentan la función de almacenar el agua y llegar a transportarla por capilaridad.
- **Poros Pequeños:** Son las que poseen un diámetro <0.0002 mm, donde podemos encontrar almacenamiento de agua, pero que no se encuentra disponible para las plantas, por el difícil acceso de las raíces a este lugar.

Por lo que la proporción de los poros puede variar según el tipo de suelo y por el grado de compactación de la textura. Se menciona que el suelo ideal debe tener una porosidad del

50%, pero con las condiciones de uso de suelo, es poco probable, encontrar este porcentaje, pero el porcentaje mínimo en el que se debe encontrar la porosidad para permitir un adecuado desarrollo de las plantas es del 35% en suelos ligeros y del 45% en suelos pesados. (Gisbert, Ibañez, & Moreno, 2016)

Para nuestro caso presentamos una porosidad del 48% al 45%, que según la descripción anterior no se encuentra en el rango óptimo para el desarrollo de las plantas, en especial nuestra muestra que es donde se desarrolla los cultivos, pero a que debemos estos cambios en la porosidad del suelo, según Díaz, 2004, donde se llevó a cabo estudios en el Páramo Piedra León, en el Departamento del Cauca, Colombia, donde se presentó una porosidad alrededor del 65%, y esto se debió a los cambios en el uso del suelo, pero esta porosidad fue un resultado que se midió bajo condiciones de especies nativas del páramo, por lo que podemos deducir que las condiciones de un suelo bajo condiciones normales sin intervención del hombre, presenta unas condiciones de porosidad que son adecuados para el desarrollo de las funciones del suelo, pero los resultados que nos muestra Daza, Hernández, Triana, 2014; los cambios en la porosidad del suelo, se redujo en un 29.8% para un cultivo de papa, un 10% para el suelo de ganadería y en un 50% para parcelas de descanso, por lo que esta disminución puede ser la responsable de problemas de erosión, debido a que al reducir la macro porosidad se verá afectada el tiempo con que la infiltración ingresa en el suelo, por lo que puede llevar a que se genere mayor escorrentía en la zona, pero por otra parte la micro porosidad, la porosidad en los suelos de cultivo, ganadería y descanso se redujo en un 7% con respecto al suelo con vegetación nativa, por lo que en términos generales, podemos encontrar que la porosidad de nuestras muestras se encuentra en un rango optimo, con respecto a su ubicación, pero si se continua con el uso del suelo de ganadería o agricultura, que es el uso actual que se le está dando al terreno, son actividades que están quebrando los agregados del suelo, lo cual estaría generando un favorecimiento de las arcillas dispersas (Jaramillo, 2002), las cuales tendrán afectación directa sobre los poros, debido a que estarán creando una especie de tampón en los espacios porosos y con esto estarán reduciendo la capacidad de retención de humedad. (Daza, Hernandez, & Triana, 2014)

Por lo que se podría llegar a observar que el nivel óptimo de porosidad en porcentaje lo podemos encontrar entre el 50 – 55 %, y los niveles críticos son los que se presentan cuando tenemos <40% y entre 75-90% de porosidad, por lo que según la obtención de la

porosidad por medio de bibliografía no se encuentra entre los niveles óptimos, pero tampoco en los niveles críticos, por lo que podríamos indicar que esta propiedad en los suelos de estudio se encuentra en un nivel intermedio. (IGAC, 2014)

6.1.1.4 Densidad Aparente

Para este parámetro se usó un método indirecto con relación a la textura, debido a que esta propiedad no se utilizara para la construcción de un posible indicador de contaminación orgánica en suelos, se basa en datos obtenidos en la bibliografía para decir que el rango de densidad que podemos encontrar en los suelos según su textura.

Se menciona que la densidad aparente, lo cual representa que la densidad aparente es; un indicador de compactación del suelo, lo podemos identificar como el peso suelo seco dividido por su volumen, lo que quiere decir que es el volumen de las partículas que lo componen y del espacio poroso (USDA, NRCS, 2008), como en nuestro caso lo hallamos con relación a la textura.

La densidad aparente nos puede dar una idea del contenido total de la porosidad en el suelo y es importante para conocer qué tipo de uso de suelo podemos tener en este, esta densidad también no puede relacionar los resultados de peso expresado en porcentaje a valores de porcentaje de volumen. Se menciona que la densidad aparente en suelo no cultivados se encuentra en un rango de 1 y 1.6 g/cm³, pero este es un valor estándar debido a que se pueden presentar fluctuaciones por diferencia de la textura y la estructura del suelo, por lo que se puede llegar a decir que el espacio poroso total se incrementa cada vez que presenta arena más fina, lo que resulta un disminución de la densidad aparente. Por otro lado, siempre generalizando, la densidad aparente aumenta de estructura migajosa o granular o prismática, columnar, laminar o masiva, porque en este sentido disminuye el volumen ocupado por la fase porosa. En la tabla 16 se muestra una relación entre la densidad aparente y porosidad con unos valores aproximados. También tenemos tener en cuenta que la compactación que se presenta por el pisoteo de animales de ganado, la labranza del terreno, la escorrentía, etc., disminuye el volumen poroso, incrementando por tanto el peso por unidad de volumen. Además también se debe

considerar la pérdida de materia orgánica puede incrementar el peso del suelo de dos maneras: (Mendoza, 2016)

- La materia orgánica es más ligera que el mineral
- Su volumen en general presenta la reducción de los poros.

DA	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
Porosidad	63	59	56	52	48	45	41	37	33	30

Tabla 16. Relación entre Densidad Aparente y Porosidad
(Fuente: Mendoza, 2016)

En la tabla 17, se muestra los datos generales para la densidad aparente del suelo según la USDA, según su textura cuando no se contenga datos de laboratorio;

Textura	Densidad Aparente Humedad (g/cm ³)
Arena gruesa	1.70 – 1.80
Arena	1.60 – 1.70
Arena Fina	1.60 – 1.70
Limosa arenosa	1.55 – 1.65
Franco arenosa	1.50 – 1.60
Franca	1.45 – 1.55
Franca Limosa	1.45 – 1.55
Limosa	1.40 – 1.50
Franca arenosa arcillosa	1.45 – 1.55
Franca arcillosa	1.40 – 1.50
Franca arcilloso limoso	1.45 – 1.55

Tabla 17. Determinación de DA por medio de Textura
(Fuente: USDA, NRCS, 2016)

Como no los menciona la USDA, según la textura del suelo podemos determinar la densidad aparente de los suelos, debido que para nuestro caso nuestros suelos se

clasifican como Franco Arcilloso Limoso, podemos decir que el rango de esta propiedad para ambos casos se encuentra entre 1.45 – 1.55 g/cm³.

Por otra parte tenemos que la densidad real, en suelos minerales no presenta grandes cambios como en la densidad aparente; donde podemos encontrar un rango de 2.6 y 2.7 g/cm³, la densidad real no se ve influenciada por los diferentes tamaños de las partículas ni por cambio en los volúmenes de poros, a diferencia de la densidad aparente; podemos encontrar que la densidad media de los sólidos presentes en el suelo y constituye un reflejo de las densidades de los minerales más abundantes en el suelo y las rocas, podemos encontrar que los suelos con mayor probabilidad de presentar densidades reales más diferentes de 2.65 g/cm³, son los minerales como podemos encontrar en nuestro caso, y en algunos suelos tropicales son ricos en hidróxidos de hierro, donde podemos identificar una densidad real muy alta. (Thompson & Troeh, 1988)

Mineral	Densidad g/cm ³
Cuarzo	2.65
Feldespatos	
Ortoclasa	2.56
Plagioclasas	2.60 – 2.76
Micas	2.76 – 3.0
Silicatos (Arcillas)	2.00 – 2.7
Hidróxidos Fe y Al	2.40 – 4.3

Tabla 18. Densidad de algunos minerales comunes en el suelo
(Fuente, Thompson & Troeh, 1988)

Podemos determinar que el valor de oscilación para nuestra densidad aparente según los valores que nos arroja la textura se encuentra en niveles críticos debido a que el nivel establecido para que el suelo nos presente una condición favorable es de 1g/cm³ y el nivel crítico son los valores mayores de 1.4 g/cm³, por lo que podemos ver que por la textura del suelo, por el tamaño de las partículas presentes en este, hace que este suelo no posea condiciones favorables para técnicas de labranza, debido a que el suelo presenta mayores limitaciones. (IGAC, 2014)

6.1.1.5 Granulometría.

Para este parámetro se tamizó una muestra de 400 g de suelo, y en cada uno de los tamices se obtuvieron los siguientes resultados:

Tamaño del Tamiz	Muestra (g)	Control (g)
500 microns o 0.5 mm	285.6	201.9
250 microns o 0.25 mm	96.9	175.4
125 microns o 0.125 mm	11.6	12.8
63 microns o 0.063 mm	5.4	9.6
Fondo	0.5	0.3

Tabla 19. Resultados del tamizaje

Para determinar el porcentaje de retención en cada tamiz, se utilizara la siguiente ecuación, que se relaciona de la siguiente manera:

Ecuación 1. Retención en el tamiz %

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso material retenido en el tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

Ecuación 2. Porcentaje que pasa en el tamiz

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido}$$

Tamiz	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
0.5 mm	285.6	71.4	71.4	28.6
0.25 mm	96.9	24.22	95.62	4.38
0.125 mm	11.6	2.9	98.52	1.48
0.063 mm	5.4	1.35	99.87	0.13
Fondo	0.5	0.12	99.99	0.1
Σ	400			

Tabla 20. Porcentaje Retenido Muestra

Tamiz	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
0.5 mm	201.9	50.47	50.47	49.53
0.25 mm	175.4	43.85	94.32	5.68
0.125 mm	12.8	3.2	97.52	2.48
0.063 mm	9.6	2.4	99.92	0.08
Fondo	0.3	0.075	99.99	0.005
Σ	400			

Tabla 21. Porcentaje Retenido Control

La granulometría es definida como la distribución de los diferentes tamaños en el suelo, en relación a las partículas; donde se representa en forma de porcentaje con relación al peso de una muestra totalmente seca, que para nuestro caso fue de 400 g; por lo que en la figura 9 y figura 10; se relaciona la gráfica granulométrica para nuestra muestra y control respectivamente; donde se muestra la relación del porcentaje retenido en cada uno de los tamices utilizados; (Sanchez N. L., 2016)

La curva granulométrica es una representación gráfica de los resultados del ensayo de granulometría, se representa gráficamente en un papel denominado log-normal por tener en la horizontal una escala logarítmica, y en la vertical una escala natural. (Universidad CentroAmericana, 2016)

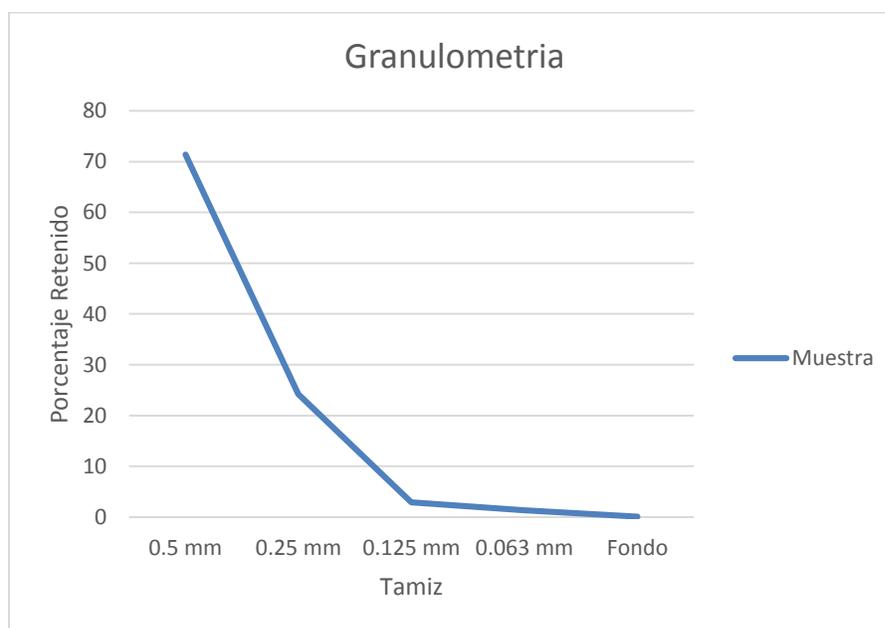


Figura 9. Grafica Granulométrica Muestra

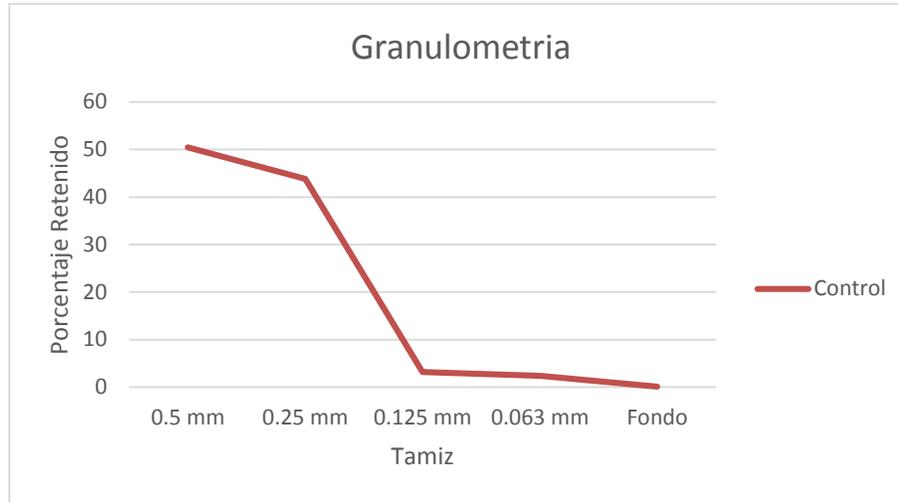


Figura 10. Grafica Granulométrica Control

Como podemos observar en las figuras anteriores se presenta el análisis granulométrico en forma de curva, donde podemos encontrar el porcentaje que pasa es graficado en las ordenadas y el diámetro de las partículas en las abscisas. (Universidad CentroAmericana, 2016); En la tabla 22, se relaciona el tamaño de los tamices que se utilizaron y según el diámetro de la partícula que queda retenido en este tamiz; la clasificación que le brinda las entidades a nivel internacional como lo son; el Attemberg (Sistema Internacional); USDA (Departamento de Agricultura de Estado Unidos) y por ultimo Ex (U.R.S.S), donde según la dimensión de la partícula se encuentran la clasificación de arcillas, limos, arena muy fina, arena gruesa, arena muy gruesa, arena media, estas son los resultados más probables que encontraremos en nuestros resultados; ya que debido a la falta de tamices suministrados por la universidad no encontraremos las clasificaciones para grava fina, grava y grava gruesa, por lo que solo en la tabla se representara el tamaño o la aproximación de los tamices empleados en nuestro laboratorio;

Dimensión de la Partícula (mm)	Attemberg	USDA	Ex U.R.S.S
0.5	Arena Gruesa	Arena Fina	Arena Media
0.25	Arena Fina	Arena Fina	Arena Fina
0.125	Arena Fina	Arena muy Fina	Arena Fina
0.063	Arena Fina	Arena muy Fina	Limo Grueso
<0.063	Limo	Limo	Limo Grueso

Tabla 22. Dimensión de partículas Elementales
(Fuente: Granulometría de Suelos, 2016)

Como para nuestra obtención de información elegimos a la USDA, como una de las principales fuentes de comparación, por lo que es la referencia que tendremos en consideración para nuestro análisis, en este caso los porcentajes que obtuvimos en el porcentaje de retención (Tabla 20 y Tabla 21); podemos observar que para nuestra caso de granulometría, para el caso de nuestra muestra tenemos mayormente (71.4%) corresponde a arena fina, seguida por (24.22%) de arena fina, continuada por (2.9%) arena muy fina y con (1.35%) adicional de este y por ultimo encontramos (0.12%) de limo; por lo que presentamos un diámetro de las partículas en nuestro suelo está compuesto mayoritariamente por diámetros de arena fina; para los resultados de nuestro control obtenemos valores cercanos, donde encontramos que (50.47%) corresponde a arena fina, con una adición de (43.85%) de este mismo diámetro; encontramos un porcentaje de arena muy fina que es el diámetro a componer entre (3.2% y 2.4%), y para nuestro porcentaje de limo no encontramos un registro conciso, por lo que en la misma observación anterior, el diámetro de partículas que encontramos mayoritariamente a arena, pero cabe decir que esto no significa que los demás diámetros no se encuentre en el suelo, debido a que la falta de tamices que comprendan otro tipo de diámetro para capturar un porcentaje en ellos y poder estimar la totalidad de partículas elementales en el suelo.

Podemos inferir que las arcillas son los diámetros de las partículas más pequeños, debido a que nuestra tabla con los diámetros de los tamices que utilizamos no la encontramos en la tabla 22 relacionada anteriormente; donde podemos encontrar que poseen un diámetro menor debido a la descomposición química de las rocas, que son plásticas.

6.1.1.6 pH.

Para este parámetro se usó el procedimiento estipulado por AS-02 NOM-021-RECNAT-2000, donde se realizó la toma de pH con Dicloruro de Calcio, los datos obtenidos se muestran en la tabla 23.

Medio usado	Muestra	Control
Dicloruro de Calcio	5.30	4.83

Tabla 23. Datos de pH obtenidos

El pH del suelo, se mide para conocer la actividad de los H⁺ en la solución suelo que nos indicaría la acidez actual y los H⁺ fijados sobre un complejo de cambio que nos indicaría la acidez potencial. Por lo cual podemos determinar la acidez total del suelo con la sumatoria de ambas, debido a que cuando se realiza la neutralización de los H⁺ libres se van soltando los H⁺ fijados, que van pasando a la solución del suelo. En la tabla 24, se muestra una clasificación para la clasificación de los suelos según su pH, debido a que este puede tener un rango desde 0 a 14; (Tecnico Agrícola, 2013)

Podemos ver que en gran parte los suelos por naturaleza tienden a presentar un pH que se encuentre en unidades de ácido, debido a que presenta una pérdida de calcio, debido a que este es absorbido por los cultivos o es desplazado del complejo de cambio por interferencia de otros cationes y se mueve hacia capas más profundas impulsado por factores externos (agua de lluvia o riego), por lo que esos espacios que son dejados por el Ca²⁺ y Mg²⁺ es ocupado por los iones de H⁺. (Tecnico Agrícola, 2013)

Clasificación	Unidades de pH
Suelos Ácidos	<6.5
Suelos Neutros	6.6 – 7.5
Suelos Básicos	>7.5

Tabla 24. Clasificación del pH en suelos
(Fuente: Técnico Agrícola, 2013)

En la figura 11, se relaciona como actúa la disponibilidad de nutrientes en el suelo según la disponibilidad del pH, por lo que de esta figura podemos inferir según los resultados arrojados en el laboratorio para los pH's de nuestra muestra y nuestro control, podemos encontrar la disponibilidad de los nutrientes en el suelo de estudio.

Por otra parte encontramos que el rango de suelos ácidos se refiere a aquellos que contienen un pH de valor inferior a 5.5 durante el mayor tiempo del año, donde podemos encontrar que se encuentran asociados con un numero de toxicidades entre las que

encontramos al Aluminio y deficiencias como es la del Molibdeno y otras condiciones donde hay restricciones para el desarrollo de las plantas.



Figura 11. Disponibilidad de Nutrientes según pH
(Fuente: Organic, 2015)

Podemos encontrar una gran variación de taxonomía en cuanto a suelos ácidos donde podemos encontrar Acrisoles, Alisoles, Podzoles y varios sub grupos. (FAO, 2016). Adicional de lo anteriormente mencionado, podemos ver que el pH, tiene un efecto importante en el desarrollo de la vida (Plantas, Microorganismos, Vertebrados inferiores, etc.), la concentración de iones de hidrogeno es fundamental en el suelo para que se desarrollen procesos físicos, químicos y biológicos. Para su identificación y conocer si se encuentra en un estado de acidez o de alcalinidad se determinó por medio de un electrodo en un contenido de humedad específico donde se tenía una relación suelo-agua. (Inecc, 2007)

Para el análisis de nuestros datos arrojados para este caso se utilizó los criterios de evaluación mostrados por la NOM-021-REC-NAT-200 que se muestra en la tabla 23; que fue el procedimiento que desarrollamos para la obtención de este parámetro en nuestros suelos;

Para nuestro resultado con Dicloruro de Calcio encontramos que nos arroja un valor de 5.30 y 4.83 para la muestra y control respectivamente.

Categoría	Valor pH
Fuertemente Acido	<5.0
Moderadamente Acido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente Alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente Alcalino	>8.5

Tabla 25. Criterios de evaluación de un suelo con respecto a su pH
(Fuente: Inecc, 2007)

Según la tabla 25 podemos ver que según los datos arrojados con la solución de Dicloruro de calcio encontramos que nuestra muestra se encuentra en moderadamente ácido y el control en fuertemente ácido; por lo que podemos decir que la concentración en nuestro suelos vendría siendo aproximadamente de 1×10^{-5} , para nuestra muestra de moles/L de iones H^+ , por lo que cuando se presenta una alta concentración de iones de hidrogeno, se considera ácido.

El pH controla muchas de las actividades químicas y biológicas en el suelo, por lo que podemos ver que nuestro resultados se encuentra dentro del rango, donde se encuentra una cantidad de nutrientes considerables, que permite un desarrollo de la vida en este suelo, también se debe tener en consideración que las variaciones de pH está influenciado por las condiciones biofísicas del lugar (clima, vegetación, hidrología, etc.), también debemos tener en consideración que el pH, está afectado por el material parental, la naturaleza química de la lluvia, las practicas del manejo del suelo y las actividades del microorganismo; podemos encontrar que los suelos que se encuentra entre un valor de 4 y 10 (valores que arrojó nuestro laboratorio); depende de factores como según USDA, 1996:

- Relación suelo solución: En el rango de humedad equivalente (capacidad de campo) a la razón de 1:5, el efecto de dilución hace aumentar el pH de la suspensión de suelo y se pueden obtener diferencias superiores a una unidad de pH.
- Efecto en las sales neutras: El pH de una suspensión de suelo disminuye al aumentar la concentración de sales neutras (NaCl, CaSO₄, etc.) por lo tanto, el aumento de pH al aumentar la dilución es un efecto corolario de la disminución del pH observado al adicionar las sales neutras. Este efecto hace que la medición del pH en agua está sujeta a variaciones estacionales. En muchos de los casos el pH del suelo es más bajo en verano debido a la adición de fertilizantes.
- Efecto del anhídrido carbónico (CO₂) del aire: El CO₂ del aire baja el pH del suelo. La concentración de CO₂ en la atmosfera prácticamente no afecta el pH en los suelos.
- Preparación de la muestra: Normalmente las muestras de suelo se secan al aire antes de analizarlas. Este secado puede producir cambios en el contenido de CO₂, y cambios químicos.
- Variación de las muestras individuales por la variabilidad del suelo: Se puede evitar tomando muestras compuestas.

Las variaciones en la medición del pH del suelo por el efecto de dilución y de la concentración de sales se pueden evitar midiendo el pH en presencia de un electrolito. Como en nuestro caso usamos el Cloruro de Calcio debido a que nos ayudó a: a) el pH resulta independiente de la dilución y la concentración salina inicial. b) La concentración del Cloruro de Calcio es casi equivalente a la concentración total de electrolito en la solución de un suelo no salino, c) el pH medido con Cloruro de Calcio refleja más el pH en torno a las raíces de las plantas y d) se disminuye el error por efecto de suspensión debido a que el ion Ca floclula en el suelo. (Universidad de Chile, 2016)

6.1.1.7 % Carbón Orgánico.

Para conocer los datos obtenidos en este parámetro se utilizó una metodología de determinación de manera indirecta entre los que se encontró con el color obtenido y con la clase textural, por lo cual obtuvimos:

Tenemos que para nuestro suelo de cultivo tenemos un valor en seco de matiz de 5, claridad de 2.5 y una pureza de 1, la clase textural es Franco Arcilloso Limoso (FYL), lo que nos indicaría un valor de 2.5 y nos arrojaría un porcentaje superior a 15, para este caso trabajaremos con un porcentaje de 17, para nuestro control tenemos datos en seco, matiz de 5, claridad de 4 y pureza de 2, la clase textural es de Franco Arcilloso Limoso (FYL), lo que nos indicaría un porcentaje de 6-9% de materia orgánica, por lo que trabajaremos con el valor más alto, que será de 9%. (FAO, 2009)

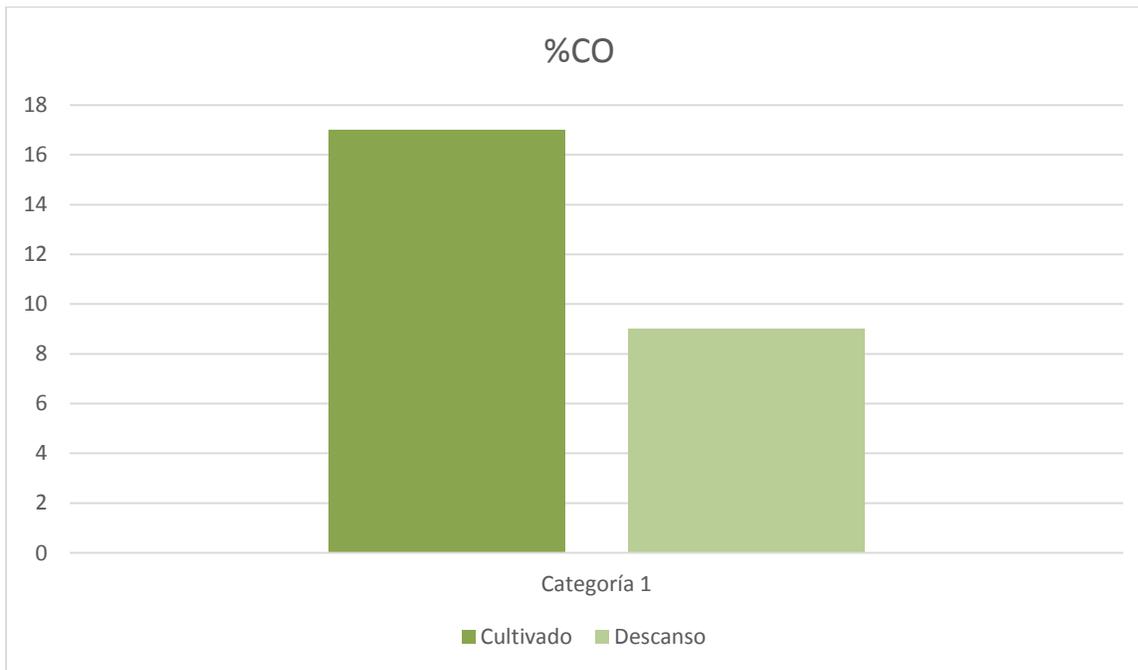


Figura 12. Contenido de carbono orgánico en las muestras
Fuente: (Autor)

La materia orgánica es considerada como una de las propiedades que mide la salud en los suelos, de manera de indicador, también nos permite conocer si un sistema de

agricultura puede ser sostenible; en los suelos que podemos encontrar el mayor porcentaje de materia orgánica son los pastizales naturales, y cuando se produce alguna alteración de este ecosistema, se produce una decadencia del porcentaje de MO, como otros parámetros en los suelos este se encuentra influenciado por los componentes biofísicos de la zona (clima, hidrología, etc.) del suelo y de las condiciones de manejo del suelo (labranzas, rotaciones, secuencias de los cultivos agrícolas, fertilización, etc.); la intensificación de la actividad agrícola y la falta de rotaciones con pasturas ha producido un deterioro de los niveles de MO, lo que podemos encontrar en algunos suelos que varían según el tipo del suelo y de su textura, donde se ha encontrado que presentan solo el 50% de su nivel original, lo que podría explicar que la respuesta generalizada al agregado de nitrógeno (N), en menor medida a azufre (S) y el desencadenamiento de problemas ambientales como la erosión de los suelos. (Sainz, Echeverría, & Angelini, 2006).

De los componentes fraccionales del suelo, la MO, es una de las más notables debido a sus amplias funciones y aporte a las demás propiedades; la MO es un sistema complejo, heterogéneo y dinámico integrado por numerosos componentes. Según Labrador, 1996, define a la MOS como la totalidad de las sustancias orgánicas presentes en el suelo que proceden de los restos de plantas y de animales, en diferentes estados de transformación, exudados radicales, aportes orgánicos externos (estiércol, compost, productos xenobioticos, así como los organismos edáficos), biomasa del suelo y los productos resultantes de su esencia y metabolismo.

En la figura 13, se ilustra el nivel general los componentes de la materia orgánica del suelo, la importancia de la MO del suelo, radica en los aportes que realiza como un intermediario entre los agentes químicos, físicos y biológicos. Por lo que podemos realizar una clasificación de los factores que componen la MO en el suelo, según sus condiciones y en el estado en que se encuentre presentes. Entre los componentes de la MO, podemos encontrar los organismos del suelo (macro y microorganismos) y por otra parte podemos encontrar las raíces de las plantas.

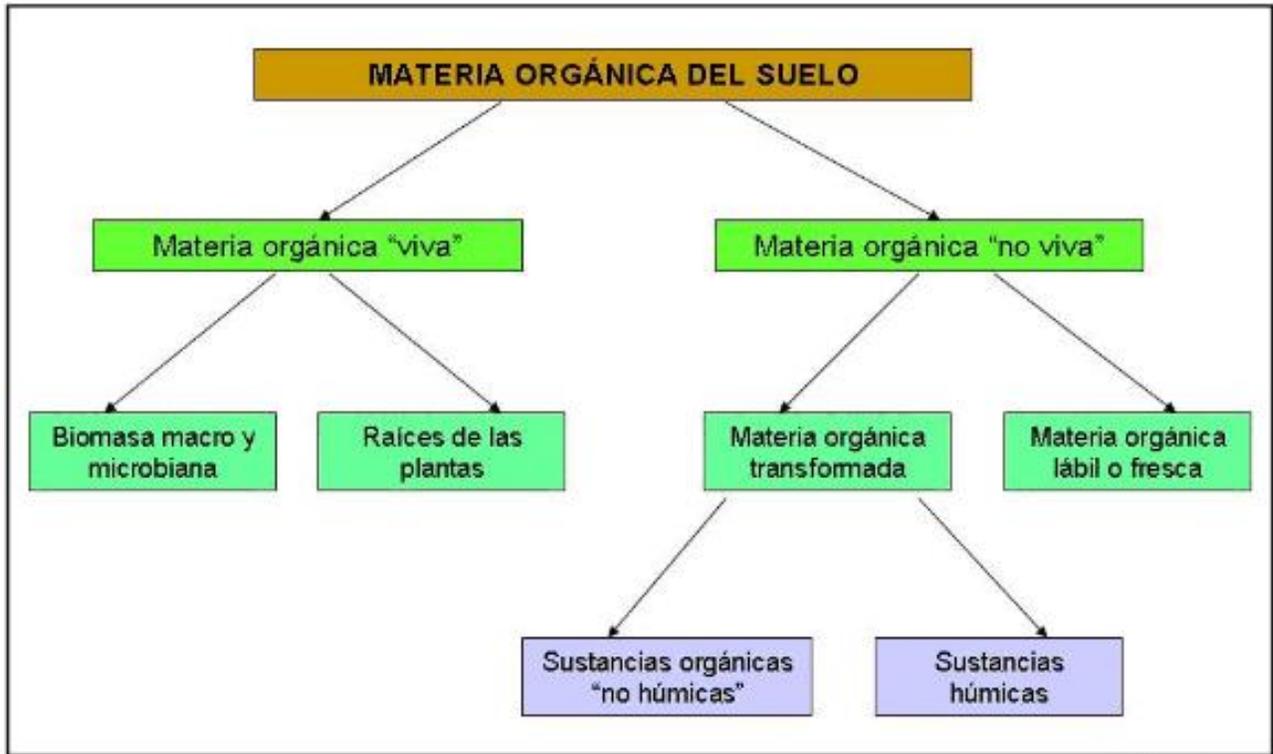


Figura 13. Componentes de la materia orgánica

(Fuente: Labrador, 1996)

Los organismos del suelo cumplen con la función de descomponer los compuestos orgánicos que se encuentren frescos, pero además de eso también se encargan de sintetizar los compuestos inorgánicos. Por otro lado la materia orgánica no viva se encuentra conformada por materia que cambia o es poco estable y materia orgánica estabilizada. Entre la materia que cambia o es poco estable podemos encontrar residuos tales como residuos de hojarasca, tallos y restos de animales que comienzan el proceso de degradación, y la materia estabilizada, en lo que podemos encontrar por el humus del suelo, que por otra parte está constituida por sustancias húmicas y humina. (UNAD, 2016)

Entre algunos de los componentes mencionados anteriormente, uno que es considerado vital importancia es el humus, ya que es uno de los componentes más estables y cumple un papel importante sobre todas las demás propiedades del suelo, permitiendo un mejoramiento de su fertilidad. Los ácidos húmicos son compuestos de carbono muy estables, que presentan colores oscuros y logran afectar el intercambio iónico por las altas capacidades de carga en la superficie, permitiendo acomplejar elementos presentes en el suelo como lo son los metales pesados y por otra parte residuos contaminantes, en la

figura 14, se muestra algunas de las características de las sustancias que componen el humus del suelo. Dando una claridad en el incremento en el grado de polimerización (estabilidad química por compuestos de carbono) de izquierda a derecha. (UNAD, 2016)

Ácidos fúlvicos		Ácidos húmicos		Húminas
Amarillo claro	Amarillo pardo	Pardo oscuro	Gris oscuro	Negro

		
1000 g mol⁻¹	grado de polimerización	10⁶
430 g kg⁻¹	peso molecular	550
7 g kg⁻¹	contenido de carbono	46
510 g kg⁻¹	contenido de nitrógeno	340
1000 cmol_c kg⁻¹	contenido de oxígeno	100
	capacidad de intercambio catiónico	

Figura 14. Componentes del humus del suelo
(Fuente: Stevenson, 1982)

Para nuestro caso el porcentaje de MO, encontrada en la bibliografía para las muestras de suelo fueron de 17% y de 9% para la muestra de un cultivo y el suelo de control respectivamente, la diferencia entre una y otra la podemos relacionar con lo que se mencionaba al principio, que cuando se realiza un intervención en el suelo, para cambiar su uso, la disminución de la MO, se realiza casi de manera inmediata, por lo que podemos explicar la reducción de este; podemos mencionar que la MO encontrada en suelos se ha encontrado en un rango de 0% en suelos jóvenes y el 80% en suelos orgánicos (Ecoplexity, 2016), según esto podemos decir que nuestras muestras se encuentra en suelos intermedios con el porcentaje de MO. También podemos encontrar que los suelos que son orgánicos se hallan dominados por capas orgánicas en la zona de las raíces. Por lo que podemos encontrar que esas capas constituyen, por lo menos, dos tercios del espesor de los suelos superficiales, podemos explicar que la formación de nuestro suelos se formaron a partir de la descomposición fue un proceso lento, que se debió presentar por la condiciones climáticas de la zona, debido a que presentamos una temperatura templada,

que no influye en la actividad microbiana, combinado con la humedad de la zona. (Thompson & Troeh, 1988)

Pero si nos basamos en la bibliografía de Colombia en la interpretación general de los resultados de los análisis de suelos según el IGAC¹, nos menciona el porcentaje de Carbón orgánico según el clima, donde encontramos por características de nuestro sitio donde se ha registrado una temperatura promedio de 12.78°C, en la zona tendremos que pertenece a un clima frío (PROCOLOMBIA,, 2016), por lo que según los criterios mencionados tendremos un alto porcentaje de CO, debido a que el rango comienza a contar desde 8.1% en adelante (Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2010), por lo que podemos ver que con esta consideración para ambas muestras el %CO esta alto.

6.1.1.8 Acidez Aluminio.

Para este caso se realizó el cálculo para la acidez intercambiable de aluminio, para lo cual obtuvimos los siguientes resultados, que se relaciona en la tabla 26;

Parámetro	Muestra	Control
V, ml de valorante consumido	15.8 ml	10.8 ml
Pm, peso muestra	10.8 g	10.9 g
Pw, %humedad de muestra	0	0
N, Normalidad del valorante	0.1 N	0.1 N

Tabla 26. Datos obtenidos para Acidez Al

Para determinar la acidez de aluminio se utilizó la ecuación 3, para conocer la cantidad en nuestro suelo de la siguiente manera;

Ecuación 3. Determinación de Acidez Aluminio

$$(V \times N(100 + Pw)) \div Pm$$

¹ Instituto Geográfica Agustín Codazzi

Ecuación 4. Acidez Aluminio de Muestra

$$(15.8ml \times 0.1N(100 + 0)) \div 10.8gr = 14.62cmol\ kg^{-1}$$

Ecuación 5. Acidez Aluminio de Control

$$(10.8ml * 0.1N(100 + 0)) \div 10.9gr = 9.90cmol\ kg^{-1}$$

A finales de la década de los 50, se consideraba al H⁺ intercambiable en los suelos era la causa de la acidez en este; pero con el paso del tiempo se ha descubierto que el Aluminio (Al⁺³) es el ion predominante en los suelos que es causante de la acidez; por lo que en los suelos la acidez intercambiable está formada por el Al⁺³ + H⁺ en diferentes proporciones. (Fassbender, 1984).

Presentamos un factor perjudicial para el desarrollo de las plantas cuando, se encuentra un pH inferior a 5 y una alta concentración de Al⁺³, genera toxicidad y presenta efectos negativos en el desarrollo normal de las plantas; a) en las propiedades químicas, posee una afectación en la solubilización, disponibilidad y absorción de nutrientes, b) en las propiedades físicas tiene interferencia con la estructura y en la estabilidad de los agregados y c) en las propiedades biológicas; posee una afectación en los microorganismos presentes en el suelo. (Fassbender, 1984)

Estudios realizados en la zona cafetera de nuestro país, nos presenta una base de resultados en los cuales podemos presentar un factor de relación de los datos obtenidos para los suelos estudiados en este caso y la comparación de nuestro suelos, los cuales se muestran en la tabla 27, valores de Al intercambiable en algunos de los suelos de la zona cafetera Colombiana. (Ortiz, Zapata, Sadeghian, & Franco, 2004)

Con ese estudio se buscó evaluar la metodología actual para la determinación de Al intercambiable en suelos derivados de ceniza volcánica y reunir la suficiente información para contar con los suficientes datos para formar un criterio para valorar su toxicidad. (Ortiz, Zapata, Sadeghian, & Franco, 2004).

Se debe tener presente que para que se presente Aluminio en los suelos deben presentarse condiciones en las cuales entra a jugar la meteorización intensiva, y los resultados de la acidificación natural en los suelos, debido a que son procesos normales

en los trópicos que conducen a que se presenten bajos contenidos de bases y por lo tanto se encontraran una gran concentración de Aluminio, y en otras casos podemos encontrar también concentraciones de Hierro y Manganeso. Podemos decir que la acidificación es provocada por el proceso de lixiviación de bases, la remoción de los cationes por actuación de las plantas y en la mayoría de los casos la aplicación de fertilizantes en los suelos. En algunas partes del mundo la acidez es un factor que tiene influencia en la producción agrícola de las regiones, que lo podemos encontrar de manera directa e indirecta; entre estos efectos tenemos que encontraremos la disminución de algunos de los elementos esenciales, encontramos que en concentraciones altas de Aluminio intercambiable, en el suelo, encontraremos que el fosforo que se encuentra de forma natural en el suelo o el que es agregado por parte de los agricultores, no se puede diluir en gran parte a formas que sean aprovechados por las plantas. (Quiros & Gonzales, 1979)

Debemos tener en consideración que el aluminio extraíble es importante para algunas evaluaciones de la disponibilidad de nutrientes del suelo y de toxicidad, si encontramos una saturación del 60% de Aluminio se toma como toxico para la mayoría de las plantas. Este valor lo podemos considerar como una medida útil para relacionar el porcentaje de la cantidad de cal para los suelos ácidos. (USDA, 2016)

Localidad	pH	Al (cmol kg- 1)	Localidad	pH	Al (cmol kg-1)
Caldas-Chinchiná	4.8	1.5	Antioquia-Venecia	4.7	3.3
E.C Naranjal	4.7	1.6	Antioquia-Venecia	4.5	3.7
Cauca-El Tambo	4.8	1.6	Caldas-Manizales	4.5	4.1
Caldas-Chinchiná	4.1	1.8	Antioquia-Venecia	4.4	5.1
Caldas-Chinchiná	4.6	2.0	Risaralda-SR Cabal	4.6	6.5
Caldas-Chichina	4.1	2.5	S.E Rosario	4.1	9.5
S.E El Rosario	4.6	2.5	S.E Rosario	4.1	12.9
Cauca- El Tambo	4.3	2.6	S.E Rosario	4.2	16.5

Tabla 27. Valores de Al intercambiable en algunos suelos de la zona cafetera
(Fuente: Laboratorio de suelos, Cenicafe, registros de 1997-2000)

En la tabla 28, se relaciona los valores críticos y la sensibilidad de las plantas al aluminio que se encuentra presente en el suelo, los valores obtenidos en laboratorio para determinar el Aluminio intercambiable en nuestros suelos, obteniendo valores de $14.62 \text{ cmol kg}^{-1}$ y $9.90 \text{ cmol kg}^{-1}$ para nuestra muestra y control respectivamente son valores que se encuentran por debajo del 60% por lo cual no corresponde a una toxicidad significativa.

Especies	Saturación de Al	Sensibilidad
Alfalfa Medicagos Anuales Cebada	1 – 5.0	Altamente sensibles
Raps Falaris Trigo	5.1 – 10.0	Sensibles
Lupinus albus Avena (algunas) Trebol blanco Trebol subterraneo Festuca Ballica Triticale (algunos)	10.1 – 20.0	Moderadamente Tolerantes
Triticale (algunos) Lupinus augustifolius Pasto ovilla Avenas (algunas) Centeno	20.1 – 30.0	Altamente Tolerantes

Tabla 28. Niveles críticos y sensibilidad de las plantas al aluminio del suelo
(Fuente: Campillo, Sadzawka, 1993)

Tendremos que el principal efecto de la toxicidad de Aluminio es la restricción en el desarrollo radicular, por lo que las raíces por lo que se reduce el volumen de suelo que puede explorar y por lo cual no presentara la misma efectividad en la absorción de nutrientes y de agua. (Campillo & Sadzawka, 1993)

Por lo que podemos explicar que debido a que nuestro suelo posee un porcentaje rico en materia orgánica, la mayor parte de los iones de aluminio se forman complejos no tóxicos con los compuestos húmicos. Además, algunos iones de aluminio pueden incorporarse a las capas intermedias de los minerales expandidos de las arcillas y así sucede una transformación de estos minerales en cloruros de aluminio, con una capacidad de intercambio catiónico considerablemente reducida. (Casierra & Aguilar, 2007)

6.1.1.9 Heterótrofos.

Para el conteo de las Unidades Formadoras de Colonia (UFC), se tuvo en un periodo de incubación de 72 horas las cajas de Petri con su respectiva muestra y agar por lo que los resultados obtenidos se muestran en la tabla 29, se relacionan las ilustraciones correspondientes a las cajas de Petri y para realizar el conteo de las UFC se usó la dilución 10^{-6} y para el control se contó la dilución 10^{-9} :

Caja de Petri	Unidades Formadoras de Colonia (UFC)	Morfotipos
Muestra	22 * g	5
Control	15 * g	4

Tabla 29. Resultado de Heterótrofos
Fuente: (Autor)

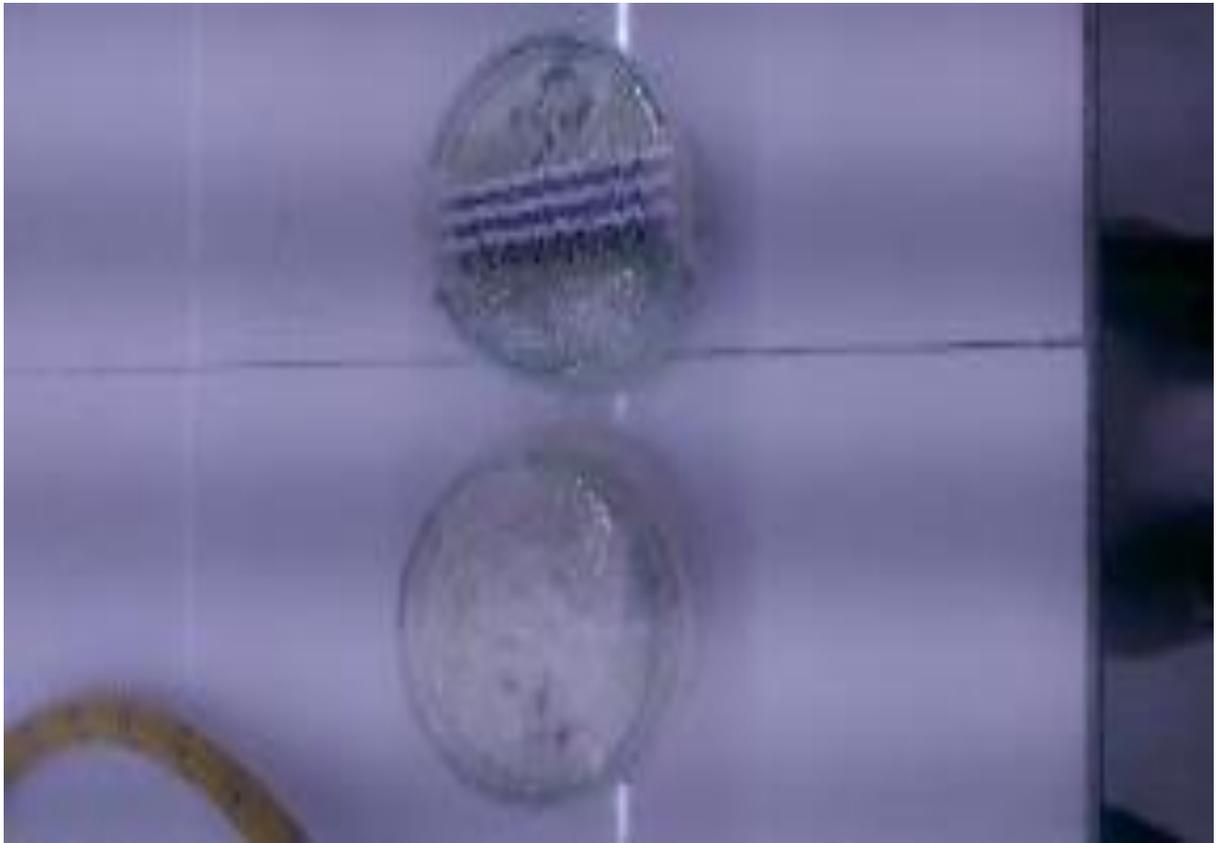


Ilustración 15. Cajas de Petri cultivadas

El suelo es un ecosistema que contiene una gran variedad de poblaciones microbianas cuyos miembros representan muchos tipos fisiológicos. Es importante tener en consideración que las propiedades físicas, químicas y biológicas en un suelo en particular, así como la presencia de plantas influirán en el número y actividades de diferentes componentes microbianos. La presencia de comunidades microbianas en el suelo es importante por su estrecha relación que posee con la fertilidad de los suelos y con los ciclos biogeoquímicos de los elementos, además del uso que se está dando para la bioremediación de suelos.

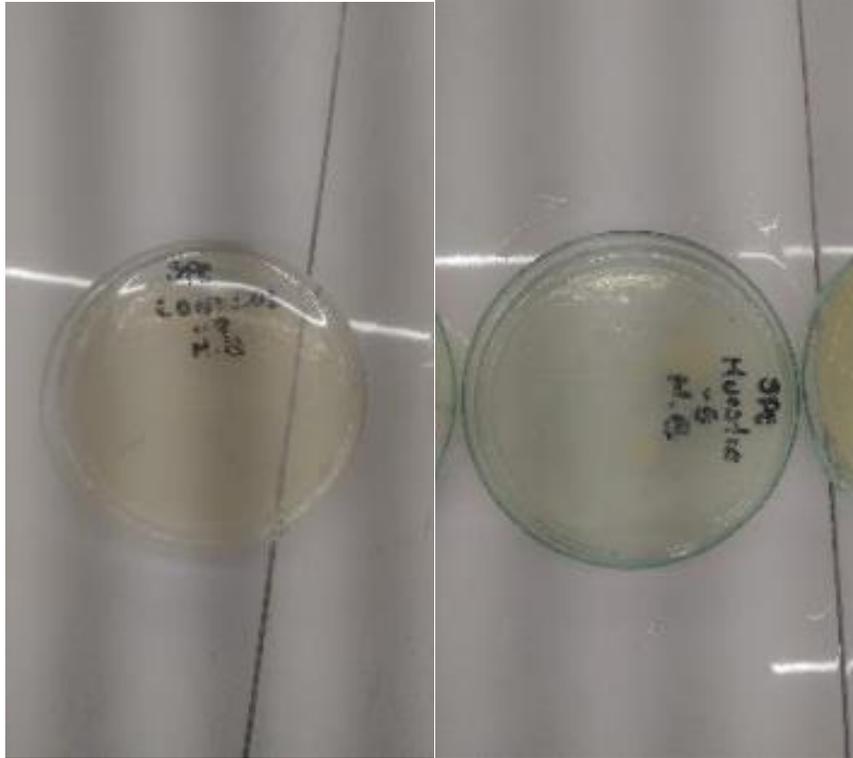


Ilustración 16. Cuento de UFC e Identificación de Morfotipos

Para esto encontramos cuales podrían ser los principales grupos funcionales que se podrían encontrar en los suelos, recordando que presentamos 5 y 4 morfotipos para nuestra muestra y control respectivamente; podemos encontrar poblaciones de bacterias, actinomicetes y hongos; que se relacionan en la tabla 30, donde se muestran los valores normalmente observados en diferentes suelos y en abonos orgánicos.

Grupos funcionales	Suelo (ufc*1000)	Abonos orgánicos (ufc*1000)
Bacterias	1000-100000	1000-1000000
Actinomicetes	100-10000	100-100000
Hongos	1-100	10-1000

Tabla 30. Valores normalmente observados en diferentes suelos y abonos orgánicos
(Fuente: Congreso nacional de suelos, 1996)

- **Bacterias aerobias:** Estas participan en los procesos de descomposición de los residuos, formación de agregados, interacciones con plantas y otros microorganismos. Si bien la mayoría son aerobias, algunas toleran condiciones de

poca disponibilidad de oxígeno, géneros comúnmente observados en suelos son *Bacillus* y *Pseudomonas*. (Uribe, 1999)

- **Actinomicetes:** Son microorganismos capaces de crecer en un rango de pH entre 4 y 10, la mayoría son aerobios, pueden crecer en suelos alcalinos o neutros y son intolerantes a condiciones de anegamiento; existen especies capaces de crecer a altas temperaturas favoreciéndose de su crecimiento en el compost. Son capaces de degradar muchas sustancias complejas incluyendo la celulosa, lignina y quitina. Son responsables del llamado “olor a tierra” y ayudan a aumentar la estructura del suelo. (Uribe, 1999)
- **Hongos:** Los hongos se encuentran principalmente en el suelo bien aireado. Algunos son patógenos de plantas, otros son importantes para degradar compuestos orgánicos como la celulosa, lignina, pectina. Favorecen la estructura del suelo al unir las partículas para formar agregados estables. Los hongos toleran generalmente pH ácidos. (Uribe, 1999)

Algunas de las actividades reflejan la actividad de individuos o grupos de organismos específicos, mientras que otras se refieren a la actividad total de la biota del suelo. Entre las primeras técnicas se encuentran la medición de la actividad de diferentes enzimas en el suelo. La actividad total de la población microbiana del suelo puede determinarse utilizando la técnica de respiración. Si bien el suelo es el sistema biológicamente más diverso del planeta, no se cuenta todavía con métodos satisfactorios para medir su biodiversidad. Según Uribe, 1999; se han sugerido algunos índices basados en métodos moleculares o estudiando grupos específicos de microorganismos. Un enfoque práctico es el uso de características fenotípicas para establecer un índice de biodiversidad. Basándose en los recuentos viables en plato se puede determinar el número de morfotipos (colonias diferentes de bacterias) en las muestras estudiadas y concluir cuál de las muestras es más diversa que la otra, lo que permite comparar el impacto que diferentes manejos agrícolas ejercen sobre la diversidad microbiana.

Utilizando la cinética de resonancia de moléculas de ADN, se puede estudiar la diversidad de las poblaciones microbianas. El ADN purificado del suelo se desnaturaliza para formar

las bandas simples. La tasa de resonancia de estas bandas depende del número de secuencias similares. (Uribe, 1999)

Según los resultados en este ítem, podríamos decir que la diferencia de las UFC de los heterótrofos, podrían variar la disponibilidad de nutrientes determinada por la adición de fertilizantes, las cuales van a cambiar las condiciones físicas y químicas del suelo, por lo que podríamos mencionar que esta propiedad es útil para evaluar la calidad del suelo, pero realizando un análisis microbiológico y físico – químico en conjunto para el recurso suelo (Perez B. L., 2008).

6.2 Evaluación de Calidad Ambiental

Para este ítem, se comparan los resultados del numeral anterior, donde se procede a realizar las tablas criterio para asignar un valor a los resultados arrojados y realizar la evaluación de calidad ambiental de las tarjetas de salud de la USDA adaptadas para nuestro proyecto y con los demás artículos que se crean necesarios para realizar la comparación de los datos obtenidos con los indicadores de calidad ambiental, por lo cual se realizara la comparación para los parámetros que se encuentran establecidos en la USDA. Por lo que se menciona las características que se menciona para cada propiedad a la cual se realizó la identificación en nuestro trabajo, que se relaciona en los siguientes numerales, para realizar un análisis cualitativo, donde según estándares de las propiedades del suelo como referencia a la calidad. La razón por la cual se realiza un análisis cualitativo de las propiedades es que las muestras no poseen replicas, por lo que no se podría aplicar estadística. (Arrieche, 2012)

Por lo que es necesario que para cada una de las propiedades identificadas en nuestros suelos de interés, se realicen las tablas que nos permitan establecer los criterios de evaluación que se tendrán en cuenta para conocer la calidad de los suelos, donde se le asignó un rango de 1-10; siendo 1 el valor que nos indica el peor escenario y el valor de 10 el valor más óptimo de la propiedad identificada, por lo que tendremos que a mayor valor del rango tendremos más calidad en el suelo; las tablas se muestran más adelante.

Sin embargo es importante aclarar que no significa que estos rangos que se asignen en las ordenes crecientes de los valores designados, ya que hay valoraciones lineales y no lineales. (Perez M. A., 2010)

Color según importancia de materia orgánica	Rango de calidad
Color oscuros	8-10
Rojizos, pardos, amarillos	4-7
Azul, verde, blanco	1-3

Tabla 31. Criterios de Calidad Color

Fuente: Adaptado (Universidad Nacional Autónoma de México, 2010)

	Valores	Apreciación	Rango de calidad
Textura (% de arena, limo y arcilla)	Franca	Ideal	10
	Franco arenosa	Buena	8-9
	Aproximadamente o dentro de franco limosa, franco arcillosa o arenosa franca	Aceptable	4-7
	Aproximadamente o dentro de limosa, arcillosa o arenosa	Regular	1-3

Tabla 32. Criterios de Calidad Textura

Fuente: (Arrieche, 2012)

	Valores	Apreciación	Rango de Calidad
Porosidad %	30-35	Muy bajo	1
	36-40	Bajo	2-3
	41-45	Medio	4-6
	46-55	Alto (ideal)	7-9
	56-60	Muy Alto	10

Tabla 33. Criterios de Calidad Porosidad

Fuente: (Arrieche, 2012)

	Valores	Apreciación	Rango de calidad
Densidad aparente da (g/cm ³)	≤0.7	Bajo	7-9
	0.7-0.8	Ideal	10
	0.9-1.2	Alto	4-6
	≥1.2	Muy Alto	3-1

Tabla 34. Criterios de Calidad Densidad

Fuente: (Arrieche, 2012)

	Valores de grano mm	Rango de calidad
Granulometría	0.5-0.25	9-10
	0.26-0.125	6-8
	0.125-0.063	2-5
	≤0.063	1

Tabla 35. Criterios de Calidad Granulometría

Fuente: (Adaptado de Arrieche, 2012)

	Valores	Apreciación	Rango de calidad
pH	≤4.5	Extremadamente acido	1-2
	4.6-5.5	Muy acido	3-5
	5.6-6.0	Acido	6-9
	6.1-7.3	Neutral (Ideal)	10
	7.4-7.8	Alcalino	6-9
	7.9-8.4	Muy alcalino	3-5
	≥8.5	Extremadamente alcalino	1-2

Tabla 36. Criterios de Calidad pH

Fuente: (Arrieche, 2012)

	Valores	Apreciación	Rango de calidad
Aluminio (cmol kg ⁻¹)	≤0.10	Muy Bajo	10
	0.10-0.25	Bajo	8-9
	0.25-0.50	Medio	5-7
	0.50-0.80	Alto	2-4
	≥0.80	Muy Alto	1

Tabla 37. Criterios de Calidad Aluminio

Fuente: (Arrieche, 2012)

Clima Frio			
	Valores	Apreciación	Rango de calidad
Carbono Orgánico %	<1.30	Extremadamente bajo	1
	1.30-2.60	Muy bajo	3-4
	2.61-4.00	Bajo	5-6
	4.01-5.20	Aceptable	7-8
	5.21-6.59	Optimo	10
	6.60-8.09	Alto	9-8
	8.10-10.00	Muy Alto	5-4
	>10.00	Extremadamente Alto	2

Tabla 38. Criterios de Calidad % CO

Fuente: (Arrieche, 2012)

Presencia biológica en el suelo UFC*1g	Rangos de calidad
1-30	1-3
31-60	4-7
61- >90	8-10

Tabla 39. Criterios de Calidad Biológicas

Fuente: (Adaptado de Arrieche, 2012)

Al presentar nuestros criterios de evaluación se procede a realizar una adaptación de las tarjetas de salud de la USDA, para nuestro caso particular que se relacionan en las siguientes tablas.

Por lo que para nuestro caso solo se muestran las propiedades identificadas en el laboratorio o encontradas en la bibliografía para conocer la calidad del suelo, donde

relacionamos las nueve propiedades que fueron identificadas en para el desarrollo de la investigación y donde contamos con una calificación máxima de noventa puntos, que nos podría brindar una idea estimada según la calificación que nos presente para ambas muestras, el estado de la salud de los suelos, hay que tener presente que estos criterios se pueden utilizar para la evaluación de la calidad de otros suelos, siempre y cuando se tengan las mismas propiedades identificadas.

Parámetro	Indicador	Valores del Indicador			
		1-3	4-6	7-9	10
Físicos	Color				X
	Textura		X		
	Porosidad		X		
	Densidad	X			
	Granulometría			X	
Químicos	pH del suelo		X		
	%CO	X			
	Acidez Al			X	
Biológicos	Presencia Biológica	X			

Tabla 40. Indicador de salud del suelo muestra
(Fuente: Adaptado USDA, 2016)

Para conocer la calificación total acerca de nuestra muestra de suelo, se realiza la sumatoria de los puntajes obtenidos para cada ítem de nuestros resultados de la tabla recordando que el puntaje 1 es el valor menos deseado para obtener en nuestra evaluación y 10 es el valor que deseamos obtener para cada parámetro, por lo cual al realizar la sumatoria de los valores obtenemos que para este caso nos arroja un resultado de 46 puntos sobre un total de 90 puntos, por lo que podemos mencionar que de un 100% que hablamos en cuento a la calidad para la muestra del cultivo, encontramos que tenemos un 51.11%, si vemos este porcentaje, se encuentra por encima de la mitad, pero que pase de la mitad del porcentaje no significa que tenga una buena calidad, por lo cual podríamos llegar a indicar que en suelo del cultivo no posee unas condiciones óptimas, desde la evaluación de las propiedades consideradas para la investigación, que nos llegaría a

pensar que por diferentes factores, este ha llegado a su degradación lo cual ha alterado sus propiedades, lo cual ha modificado sus condiciones de calidad y por lo tanto de fertilidad.

Parámetro	Indicador	Valores del Indicador			
		1-3	4-6	7-9	10
Físicos	Color			X	
	Textura		X		
	Porosidad		X		
	Densidad	X			
	Granulometría			X	
Químicos	pH del suelo	X			
	%CO		X		
	Acidez Al			X	
Biológicos	Presencia Biológica	X			

Tabla 41. Indicador de salud del suelo control
(Fuente: Adaptado USDA, 2016)

El puntaje total para este caso nos arroja un total de 45 puntos sobre 90, por lo que tendríamos un porcentaje de 50% de calidad para el suelo de control, esta diferencia en los criterios evaluados, podríamos ver que se debe a que el suelo se encuentra totalmente descubierto, no posee una protección que le ayude a evitar la erosión producida por el viento y el agua, también podríamos llegar a pensar que la diferencia de que este suelo no posee una calificación de calidad óptima, es que debido a que no cuenta con vegetación, cuando se realiza las fumigaciones al cultivo, podríamos llegar a pensar que por el arrastre del viento y la deposición atmosférica de contaminantes, hace que las propiedades del suelo se alteren de tal manera a que su calidad de encuentre por debajo al suelo del cultivo.

6.3 Contaminación Orgánica

Entre los contaminantes orgánicos más comunes del suelo podemos encontrar una gran variedad, debido a su composición y uso que se les dé, entre los que tenemos los siguientes; fitosanitarios, aceites, petróleo, gasolinas, etc., y esto lo podemos encontrar en los suelos gracias a diferentes actividades humanas, tales como la agricultura, industria, transporte, etc. (Junta de Andalucía, 2016)

Debemos tener presente que de los mencionados anteriormente los que causan la mayor contaminación orgánica son los fitosanitarios, que para nuestro caso son elementos comúnmente usados para proteger de parásitos, enfermedades a las plantas, proteger a los cultivos de agentes dañinos, entre los que podemos ver que no sean parásitos tales como las malas hierbas, algas, etc., y también los fertilizantes para mejorar de manera cualitativa y cuantitativamente la producción de los cultivos. (Junta de Andalucía, 2016)

Debemos tener presente que los mecanismos de evolución de los contaminantes orgánicos en el suelo puede ser por; procesos de acumulación ya sea por mecanismo físicos y de adsorción, procesos de degradación entre lo que podemos encontrar descomposición química, fotoquímica y la degradación biológica y por último los procesos de transporte en lo cual tenemos la difusión, lixiviación, volatilización y erosión. (Junta de Andalucía, 2016)

Muchos de los productos que son utilizados podemos decir que son relativamente inertes, sin embargo, otros pueden llegar a causar daño a los seres humanos, aun encontrándose en cantidades muy pequeñas y puede llegar a presentar bioacumulación. Las propiedades moleculares, en especial, su estructura electrónica, su coeficiente de solubilidad y su disponibilidad para volatilizarse, son de gran importancia para definir su comportamiento. Así por ejemplo la facilidad de las moléculas a ionizarse, es la principal razón por la cual muchas de las interacciones que se establecen entre los compuestos orgánicos tóxicos y el suelo son pH dependientes. Por otro lado los compuestos que no se ionizan, son las propiedades hidrofílicas quienes regulan los procesos de adsorción. (Ibañez, 2005)

La contaminación orgánica como se mencionó en el principio puede darse por diferentes sectores, pero debido a que nuestro caso es puntual hablaremos de la agricultura como

caso de contaminación, esta se produce por prácticas agrícolas en donde se le da un uso intrínseco de fertilizantes y pesticidas inorgánicos y del uso de aguas residuales y abonos orgánicos. Pero es importante recordar que no solo podemos hablar de contaminación agraria también podemos referirnos a una acumulación excesiva de sales, de erosión, etc.



Figura 15. Efectos de la contaminación agrícola

(Fuente: Miliarium, 2016)

Podemos presentar contaminación por actividades agrícolas intensivas, entre las que podemos presentar la aplicación incontrolada de biocidas para el control de plagas, malas hierbas e insectos, aplicación de fertilizantes químicos especialmente de nitratos y fosfatos, aplicación incorrecta de estiércol y purines, liberación de contaminantes orgánicos y nutrientes por arte de animales, granjas y sitios y técnicas de arado que conducen a la erosión. (Miliarium, 2004).

Debemos tener en consideración que la composición de la materia orgánica como se ha mencionado anteriormente, la materia orgánica macroorganica está constituida por la materia orgánica que aún conserva su estructura morfológica original; en lo que incluimos plantas, raíces y fragmentos visibles de residuos. El humus es el material proveniente de la descomposición gradual y la mineralización final del material macroorganico por parte de la actividad microbial de los organismos del suelo. Esta clasificación de sustancias húmicas y sustancias no húmicas se basa en las siguientes características químicas:

- Sustancias no húmicas: aquí podemos encontrar aquellos compuestos biopolímeros o metabolitos intermediarios de la materia viva. Cuantitativamente los

más importantes son los carbohidratos como la celulosa, polímeros aromáticos como ligninas, y melaninas microbiales, proteínas y biomacromoléculas como los lípidos. Los monómeros tienen cuantitativamente menos importancia, debido a que son productos de la degradación de sustancias húmicas y no húmicas, como aminoácidos, compuestos fenólicos y azúcares que son rápidamente metabolizados por microorganismos, muchas de estas sustancias son fuertes acomplejantes, que contribuyen significativamente a la movilización de metales por desorción y disolución mineral y por su transporte hacia horizontes más profundos del suelo. Las sustancias no húmicas pueden llegar a ser parte del humus mediante diferentes procesos de descomposición. Debido a su origen, los polímeros no húmicos se caracterizan por contener subunidades con estructura química definida. (Reyes & Barreto, 2011)

- Sustancias húmicas: Según Guzmán y Barreto, 2011; Se caracteriza por su extrema e irregular estructura química. Se clasifica de acuerdo con su solubilidad en ácidos y bases; así:
 - Humina. El material completamente insoluble tanto en el medio ácido como en básico, por lo general esta fracción es de color negro.
 - Ácidos húmicos. La fracción de sustancias húmicas insoluble en medio ácido pero soluble en medio básico. Los ácidos húmicos constituyen la mayor fracción extractable de las sustancias húmicas; son menos ácidos y tienen mayor peso molecular que los ácidos fulvicos. Presentan colores de café oscuro a negro. Esta fracción tiene estructura polimérica, aparentemente en forma de anillos y cadenas, está constituida principalmente por macromoléculas aromáticas con compuestos de aminoácidos, carbohidratos, péptidos y compuestos alifáticos que se quelatan con los grupos aromáticos.
 - Ácidos fulvicos. La fracción de sustancias húmicas soluble en medio ácido y básico, razón por la que son extraídos después de remover los ácidos húmicos por acidificación. Tienen menor peso molecular y son considerablemente más ácidos que los ácidos húmicos. Presentan

coloraciones de amarillo claro a amarillo café. Contienen estructuras aromáticas y alifáticas extensivamente sustituidas con oxígeno. (Reyes & Barreto, 2011)

Por lo anterior podemos encontrar que existen límites de compuestos orgánicos en el suelo, por lo que en la tabla 42, se muestran los límites permisibles para algunos de los compuestos orgánicos, para suelos agrícolas y suelos naturales sin intervención, teniendo en cuenta que el contenido de contaminantes orgánicos tiende a ser menor en los suelos agrícolas en comparación con los naturales. (Fabiatti, Biasioli, Barberis, & Ajmone-Marsan, 2009)

En este caso podemos encontrar niveles críticos de materia orgánica en el suelo que se relaciona en la tabla 42, con relación al clima donde se encuentre en suelo, donde se relaciona el porcentaje de materia orgánica que se puede encontrar y el porcentaje que se encuentre en alto es lo que nos indicara el exceso de materia orgánica en los suelos y nos mostraría contaminación en los suelos por lo que ya presentaremos problemas en las funciones que regula la materia orgánica.

Clima	Carbón Orgánico (%)		
	Bajo	Medio	Alto
Cálido	<1.2	1.2 – 2.3	>2.3
Templado	<1.7	1.7 – 2.9	>2.9
Frio	<2.9	2.9 - 8.1	>8.1

Tabla 42. Consideraciones generales para interpretar análisis químicos de suelos
(Fuente: Adaptado de (IGAC, 2014))

Con la tabla 42 podemos encontrar la relación entre cuales son los límites de Carbón Orgánico (%) según el clima que encontremos en el área de estudio, pero debido a que podemos encontrar variaciones según la taxonomía del suelo, por lo cual se muestran los niveles para Colombia, para tener un mejor nivel de referencia, en cuanto a los suelos, teniendo en cuenta que nuestro país posee gran variedad de climas y de diferentes componentes biofísicos a lo cual podemos encontrar las variaciones y encontrar una guía con los niveles encontrados en otros países, para comenzar a realizar los estudios propios

de nuestros suelos y encontrar nuestros niveles de materia orgánica y poseer nuestros niveles de contaminación propia.

Se debe realizar un estudio con mayor detalle que nos permita realizar una cuantificación de los compuestos orgánicos que contenga el suelo, esto con el fin de conocer las concentraciones de las sustancias y realizar una comparación con los límites establecidos para cada uno de los compuestos encontrados para conocer si nuestro suelo se encuentran contaminados por estos compuestos, pero debido a que no es uno de nuestros objetivos solo se deja como evidencia la mención de este ítem a manera informativa.

6.4 Indicador de Carga Orgánica

Para la construcción del indicador se procede a realizar la selección de un modelo predictivo que nos permita conocer la cantidad de materia orgánica en el suelo para saber si este se encuentra contaminado por exceso de materia orgánica, por lo que un modelo predictivo es la mejor manera de realizar este análisis teniendo en consideración propiedades que sea de fácil identificación, por lo que en la siguiente tabla se relaciona el nivel de materia orgánica (%), que se ha encontrado en los suelos según la temperatura.

Pero también se relaciona en la siguiente tabla los niveles de materia orgánica que se registraron para un estudio, donde se presentaron un suelo cultivado y un suelo sin intervención para tener una idea de cuáles son los niveles que se han registrado y la clasificación que se ha tenido.

Clima	Contenido de Materia Orgánica (%) para nivel		
	Bajo	Medio	Alto
Cálido	<2	2-3	>3
Templado	<3	3-5	>5
Frio	<5	5-10	>10

Tabla 43. Niveles de materia orgánica en suelos
(Fuente: Jaramillo, 2016)

Con relación al clima encontramos los niveles anteriormente mencionados, pero para suelos vírgenes y cultivados podemos encontrar otro tipo de límites, los cuales se derivaron de una serie de estudios, relacionados con el color de los suelos, lo cual mostramos a continuación.

Zona del suelo	Virgen	Cultivado
Café	3-4	2-3
Café oscuro	4-5	3-4
Negro	6-10	4-6
Gris oscuro	4-5	2-3
Gris	1-2	1-2

Tabla 44. Materia orgánica en suelos nativos y cultivados (%)
(Fuente: Alberta, 2016)

Cabe aclarar que para realizar el modelo predictivo del nivel de materia orgánica, se necesitan tener datos que nos permitan tener una idea del nivel de materia que se encontrara en los suelos, por lo que tomamos datos registrados por (Daza, Hernandez, & Triana, 2014), además de esto se necesitaban propiedades que fueran fáciles de identificar y que nos permitieran conocer el nivel de materia orgánica, tal como el color específicamente el matiz (hue) que puede encontrarse entre un rango de 2.5 – 10, la textura del suelo y el porcentaje de carbón orgánico con estos tres datos se puede realizar una predicción de la materia orgánica presente en el suelo, cabe aclarar que el resultado base de comparación se realiza sobre las condiciones encontradas en el terreno de nuestra área de estudio.

Pero cabe aclarar que en las dos tablas anteriores son niveles de materia orgánica que se tienen para comparación en laboratorio, por lo que podríamos llegar a indicar que los niveles que se han registrado en campo para conocer los niveles de MO, son entre 0% en suelos jóvenes, y el 80% en los suelos orgánicos. La mayoría de los suelos de bosques, probablemente, oscilan entre el 0.5% y el 20%. Los suelos de los bosques secos tropicales tienden a encontrarse en un rango más bajo de MO, mientras que en bosques frescos y húmedos se encuentran en rangos más altos (donde la descomposición disminuye por las frescas temperaturas). (Ecoplexity, 2016)

El modelo elegido para nuestra predicción es un modelo de regresión múltiple cuando se está estudiando las posibles relaciones entre variables independientes y otra variable dependiente, para nuestro caso tenemos variables independientes como el color, la textura y el carbono orgánico presente en el suelo, que dependiendo de cada uno de esto podemos estimar el contenido de materia orgánica en el suelo y con esto tener una idea de la carga orgánica del suelo, donde podremos tener una idea de su MO y con esto tomar la decisión de realizar otros estudios que nos permitan conocer si se encuentra contaminado por este compuesto.

Para este caso podemos ver que utilizamos datos encontrados en los laboratorios realizados en las instalaciones de la Universidad ECCI y en la bibliografía, donde presentaremos una posibilidad donde podremos estimar el nivel de carga orgánica.

Para este caso realizaremos la estimación de la materia orgánica nuestra variable y de la manera que se calcula normalmente donde utilizaremos la ecuación que se muestra a continuación para determinar el % de Materia Orgánica;

$$\%MO = \%CO \times 1,724$$

Ecuación 6. % de MO con relación al %CO

En la tabla 45 se relacionan los datos obtenidos para realizar el modelo de regresión lineal múltiple;

Registro	Suelo	Color	Textura	% CO	Nivel de Materia
		Matiz(hue)	Arcilla		orgánica
		X1	X2	X3	Y
1	Muestra	5	30	17	29.3
2	Control	5	35	9	15.5
3	Cultivo de Papa	10	26.49	13	22.4
4	Ganadería	10	54.75	10	17.2
5	Descanso	10	23.30	10.2	17.6
6	Nativo	10	24.34	18	31.0

Tabla 45. Valores seleccionados para modelos de regresión múltiple

Los resultados de la regresión lineal múltiple para este caso se presentan a continuación;

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	1
Coefficiente de determinación R²	1
R² ajustado	1
Error típico	2,3936E-15
Observaciones	6

Tabla 46. Estadística de la Regresión

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	3	219,1484437	73,04948124	1,275E+31	7,8431E-32
Residuos	2	1,14587E-29	5,72934E-30		
Total	5	219,1484437			

Tabla 47. Análisis de la Varianza

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	0	7,3096E-15	0	1	-3,15E-14	3,145E-14	-3,15E-14	3,1451E-14
Variable X 1	-6,056E-16	4,1489E-16	-1,4596702	0,2817987	-2,39E-15	1,18E-15	-2,39E-15	1,1795E-15
Variable X 2	1,3479E-16	1,0175E-16	1,3246761	0,3163746	-3,03E-16	5,726E-16	-3,03E-16	5,726E-16
Variable X 3	1,724	3,1242E-16	5,518E+15	3,284E-32	1,724	1,724	1,724	1,724

Tabla 48. Coeficientes

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico para Y</i>	<i>Residuos</i>	<i>Residuos estándares</i>
1	29,308	3,5527E-15	0,70710678
2	15,516	0	0
3	22,412	7,1054E-15	1,41421356
4	17,24	0	0
5	17,5848	3,5527E-15	0,70710678
6	31,032	7,1054E-15	1,41421356

Tabla 49. Análisis de los residuales

<i>Percentil</i>	<i>Y</i>
8,33333333	15,516
25	17,24
41,6666667	17,5848
58,3333333	22,412
75	29,308
91,6666667	31,032

Tabla 50. Resultados de datos de probabilidad

En las siguientes figuras se muestra el gráfico para cada variable independiente (X1, X2 y X3) contra los residuos, lo que se utiliza para detectar el problema de no linealidad, heteroscedasticidad y auto correlación en el modelo de ajuste

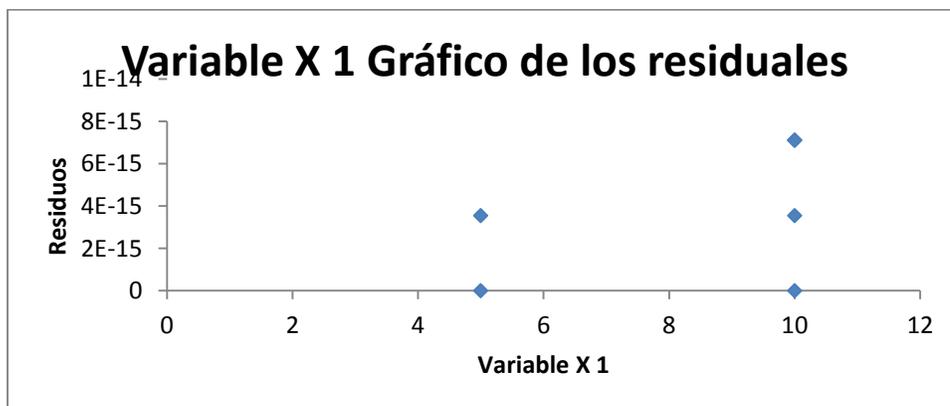


Figura 16. Gráfico de los Residuales X1

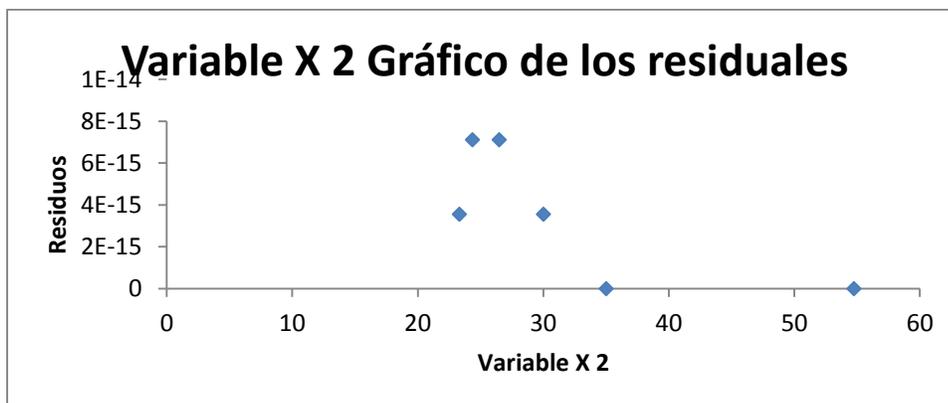


Figura 17. Gráfico de los Residuales X2

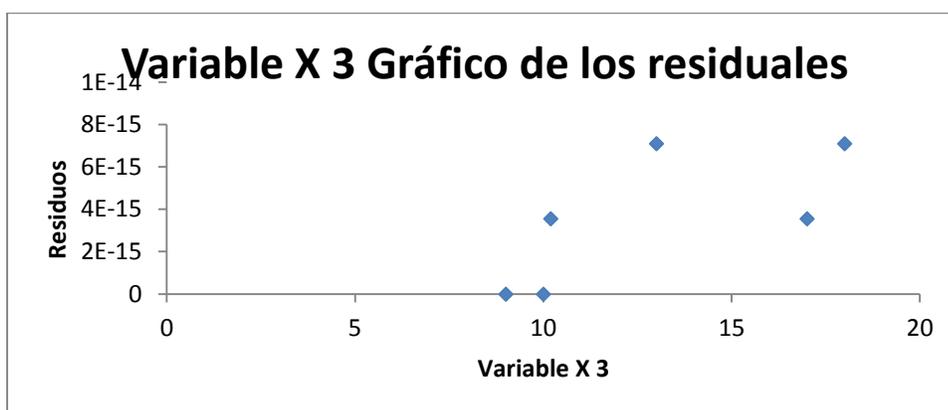


Figura 18. Gráfico de los Residuales X3

Podemos encontrar que en casi todas las gráficas encontramos una distribución aleatoria de puntos.

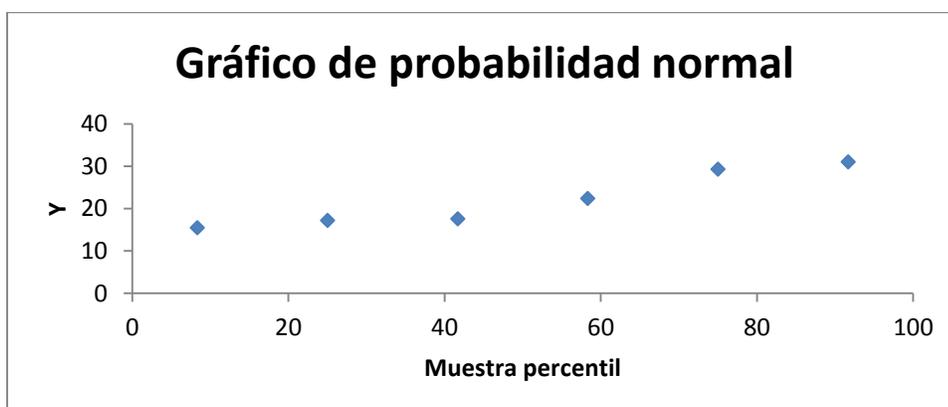


Figura 19. Gráfico de probabilidad normal

Este grafico nos muestra el grafico para detectar la hipótesis de normalidad en el modelo. La grafica ideal es la diagonal del primer cuadrante.

En las siguientes graficas se visualiza cada variable independiente contra los valores predichos, lo que sirve para detectar los problemas de heteroscedasticidad.

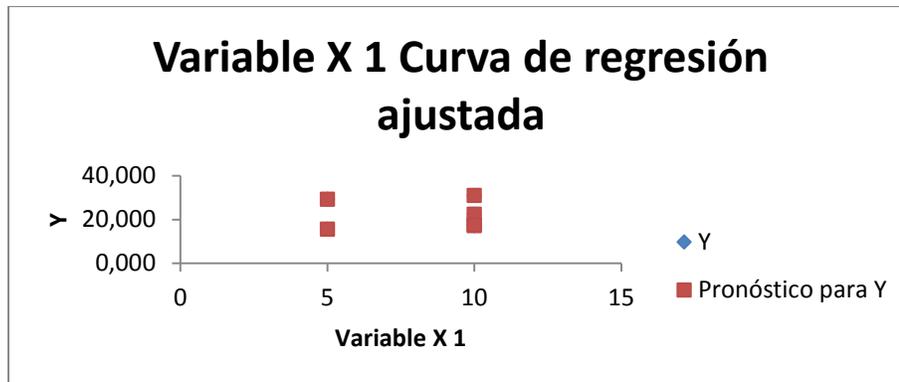


Figura 20, Curva de Regresión ajustada X1

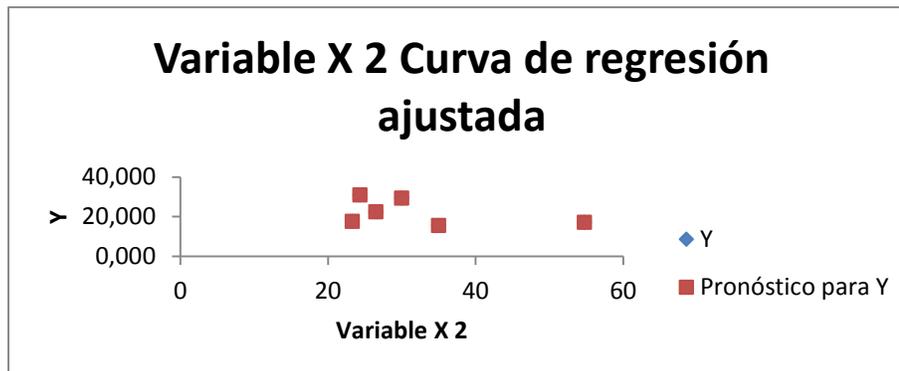


Figura 21. Curva de Regresión ajustada X2

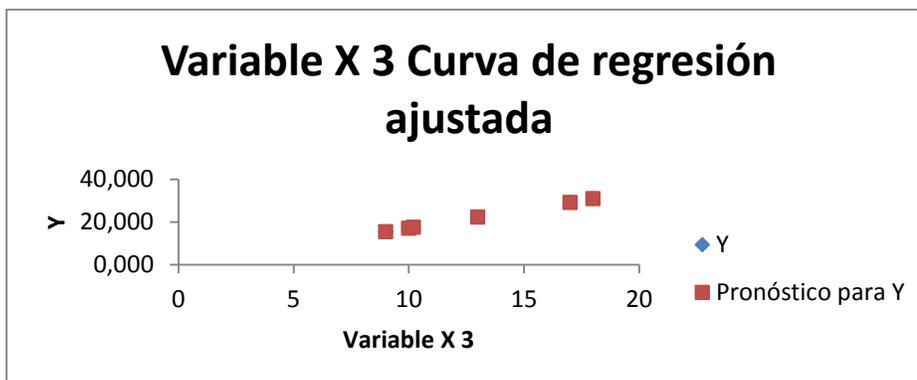


Figura 22. Curva de Regresión ajustada X3

Lo ideal es que en todas las gráficas presenten una estructura aleatoria de puntos, como podemos ver en nuestro caso, tenemos aleatoriedad en gran parte de distribución de los puntos lo que podría decir que no hay gran problema como la heteroscedasticidad. (UAM, 2011)

Para finalizar en análisis de nuestros datos realizaremos la prueba ANOVA, por sus siglas en ingles en análisis de la varianza, para lo que obtenemos los siguientes resultados;

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Columna 1	6	50	8,33333333	6,66666667
Columna 2	6	193,88	32,3133333	138,939827
Columna 3	6	77,2	12,8666667	14,7466667
Columna 4	6	133,0928	22,1821333	43,8296887

Tabla 51. Resumen de la Varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	2032,45912	3	677,486375	13,2721505	5,3895E-05	3,09839121
Dentro de los grupos	1020,91424	20	51,0457122			
Total	3053,37337	23				

Tabla 52. Análisis de la Varianza

Aquí podemos ver que el valor de F es mayor al valor crítico de F lo que podría decirnos que hay una diferencia significativa en los grupos, lo que podría decirnos que cada una de las variables es independiente con respecto a la otra.

Para esta caso interpretamos el R^2 ajustado, que como podemos observar se encuentra en 1, lo que nos indicaría que los datos se encuentra estrechamente relacionados uno de los otros, pero como vemos en el análisis de la varianza esto no pasa, como se mencionó anteriormente no son dependientes uno de los otros, para conocer si los datos obtenidos por esta regresión lineal múltiple nos permitirá realizar un pronóstico de materia orgánica se procede a correr la ecuación obtenida, con los datos de la media de cada columna para conocer qué nivel pronosticaría. Siguiendo el modelo del modelo que se relaciona a continuación se procederá a reemplazar los datos.

$$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x + a_3 x$$

Ecuación 7. Modelo de regresión lineal múltiple

$$Y = X_1(-6.056E - 16) + X_2(1.3479E - 16) + X_3(1,724)$$

Ecuación 8. Modelo de Regresión

Encontrado la media para cada uno de las variables obtenemos la siguiente ecuación y el siguiente resultado.

$$Y = 8.333(-6.056E - 16) + 32.313(1.3479E - 16) + 12.533(1.724) = 22.18\%$$

Ecuación 9. Ejemplo de Modelo

Como podemos ver para este caso el valor pronosticado para el nivel de materia orgánica se encuentra sobre un nivel mayor a los suelos de un bosque, por lo que esta ecuación podría ser una posible herramienta que nos permitiera determinar la carga orgánica de los suelos y tomar decisiones al respecto, pero también se debe considerar que según el dato de calidad ambiental nuestros suelos estudiados se encuentran alrededor del 50% lo que nos indicaría que no es un suelo con buenas condiciones de calidad por lo que este modelo con los datos obtenidos con un poco más de desarrollo y de validación nos permitiría utilizarlo como un indicador de calidad.

Debemos tener presente que la idea del proyecto era realizar una posible construcción de un indicador de carga orgánica como un indicador de calidad de suelos, en cual se logró proponer el posible uso de una ecuación que nos permitirían pronosticar el nivel de materia orgánica en los suelos y conocer si se encuentra en un rango de MO adecuado, para tener una mejor confiabilidad y exactitud de esta ecuación habría que realizar una validación de esta y realizar su aplicación en otro tipo de suelos, pero estas dos cosas no se realizan en el proyecto ya que no se encontraba dentro de los objetivos desarrollados para la investigación.

7. Conclusiones y Recomendaciones

Encontramos que los suelos que se estudiaron y los cuales se encuentra en la bibliografía, contenían un %MO de suelos de bosques y algunos que superan este porcentaje, por lo cual sería necesario realizar un estudio con mayor detalle para cuantificar los compuestos que se encuentran en estos y saber si se encuentran contaminados por un exceso de materia orgánica, lo cual permitiría concluir si los suelos poseen una afectación por la materia orgánica, debido a las practicas que se están llevando en los suelos, pero los datos que obtuvimos nos permitió desarrollar un posible indicador de carga orgánica, para tener en consideración para determinar la calidad de los suelos en cuanto a este tema.

Las muestras de suelo que obtuvimos para determinar sus propiedades nos permitió encontrar que el suelo cultivado tuvo valores inferiores con respecto al porcentaje de arena y arcilla con respecto al suelo de control, esta pequeña diferencia se puede presentar debido a que el suelo posee una intervención lo que distribuiría la textura del suelo, esta es la única propiedad que presenta inferioridad, en las demás propiedades como la granulometría, pH, %CO, Acidez Aluminio y Heterótrofos nos muestra un mayor dato en el suelo de cultivo con relación al de control y en este caso podemos mencionar que se debe también a la intervención humana que se le brinda, ya sea por el uso de productos químicos, biológicos o alteraciones que se le realice.

Según la evaluación de calidad ambiental de los suelos, podemos decir que encontramos un gran deterioro en esta, por presentar un nivel que oscile entre el 50%, por lo que se sugiere realizar una gestión de gerencia del suelo que asegure sus propiedades de calidad y que permita seguir manteniendo la producción en nuestro país.

Debemos tener presente que uno de los problemas más críticos a la hora de realizar políticas, o temas normativos en el tema de desarrollo sostenible es una selección adecuada de indicadores de calidad del suelo que nos permita identificar su estado y su calidad de esta manera podremos desarrollar e implementar estrategias que lleven consigo un uso adecuado al momento de realizar la designación para el uso del suelo. Por lo que podemos ver que las propiedades biológicas se han convertido en criterios importantes para realizar la evaluación en cuanto al manejo y uso del suelo, pero debemos tener en consideración que existen otras propiedades como las físicas, para nuestro caso el color es un indicador que nos brinda gran información en cuanto a las propiedades del suelo y su composición. (Vallejo-Quintero, 2013)

Es conocido que nuestro país se ha desarrollado la ganadería de manera excesiva, donde se han destinado grandes extensiones de terreno, donde no se ha realizado una inversión adecuada y manejo inadecuado de praderas, por lo que se ha causado una afectación en los ecosistemas, deterioro ambiental y un impacto negativo en los sectores socioeconómicos del país. Por lo anterior se ha encontrado que estas pasturas, han presentado características donde no hay o hay presencia leve de materia vegetal y adicional a esto el uso inadecuado de prácticas para ganadería y/o agricultura, por la quema y la mecanización ha causado una pérdida de calidad de suelos, donde se ha visto afectado los indicadores productivos, la biodiversidad e incrementando la necesidad de insumos químicos externos, tales como plaguicidas o fertilizantes.

Por lo que se hace necesario que se detenga la degradación edáfica y la pérdida de diversos sistemas productores, por lo que implica un cambio en las políticas estatales y mayor compromiso por parte de los productores, por lo cual la implementación de un indicador basado en el color les brinda una herramienta que les permita conocer las propiedades del suelo y con esto brindarle un uso adecuado al suelo, sin afectar sus características y disminuir su calidad. (Vallejo-Quintero, 2013)

Por lo que desde la perspectiva de la ingeniería ambiental, es necesario evaluar y realizar el monitoreo de dicha calidad, esto se realiza con el fin de mejorar o para mantener la fertilidad y por lo que mantendremos o se puede realizar la estimación de la productividad del suelo, por lo que se podrá garantizar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Por lo

que es necesario encontrar una estrategia, donde se realiza indispensable la selección de indicadores de calidad que proporcionen la información relevante sobre los cambios generados en las propiedades edáficas, tales como la contaminación por materia orgánica como consecuencia del uso y el manejo del suelo. (Vallejo-Quintero, 2013) Por lo que el uso de indicador es una herramienta que nos permite medir y que nos ayuda a simplificar la información relevante de interés, haciendo que un fenómeno o condición de interés como es la contaminación orgánica se haga perceptible mediante métodos de cuantificación, medición y subsecuente interpretación de propiedades que nos permita conocer información acerca de su estado actual y potencial. (Vallejo-Quintero, 2013).

Por lo que se recomendaría realizar un estudio con mayor detalle sobre las propiedades de los suelos que se encuentren a nivel nacional, por la importancia que posee para el desarrollo de nuestra sociedad y debido a que nuestro país posee condiciones únicas de formación de suelos y algunas taxonomías especiales que poseen características específicas, por lo que es necesario realizar la identificación y la clasificación de estas propiedades y la clasificación de los suelos en los estándares de calidad ambiental en el suelo.

Por otra parte se recomienda realizar más investigaciones sobre el territorio nacional, para conocer si el modelo de regresión realiza una estimación correspondiente sobre el nivel de materia orgánica encontrado en los suelos, donde se pueda encontrar las técnicas correspondientes para la recuperación del suelo y no permitir que se deteriore, además se llega a la conclusión de que es necesario realizar más estudios, para obtener una cantidad de datos que permitan construir una ecuación con mayor grado de confiabilidad y estimación del nivel de materia orgánica en los suelos.

La información es muy reducida en cuanto a la caracterización de los suelos en cuanto a sus propiedades, por lo que es preciso realizar más investigaciones con el apoyo de instituciones rectoras en el tema, para lograr la construcción de una base de datos que brinde a las universidades e investigadores una base de datos con la información más relevante en el recurso suelo que se encuentra sobre nuestro territorio nacional.

8. Referencias

- Alcaldia Mayor de Bogota. (15 de 08 de 2016). *Localidades*. Obtenido de Usme:
<http://www.bogota.gov.co/localidades/usme>
- Almendros, G., Gonzalesz, V. F., Perez, G. J., Knicker, H., & de la Rosa, J. (2011). *Protocolos y técnicas analíticas e instrumentales para evaluar el impacto del fuego sobre la materia orgánica del suelo*. Madrid.
- Arrieche, A.-S. R. (2012). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO, EN EL SISTEMA PRODUCTIVO ORGÁNICO LA ESTANCIA, MADRID, CUNDINAMARCA, 2012. Utilizando indicadores de Calidad de Suelos. Bogota, Cundinamarca, Colombia.
- Arshad, M., & Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 153-160.
- Arysta LifeScience . (07 de 2012). *Hoja de seguridad*. Obtenido de Raizal 400:
http://www.arysta.com.co/images/stories/pdf_Nutricin/RAIZAL_Hojadeseguridad.pdf
- Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R., & Gutierrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 90-97.
- Bayer. (mayo de 2013). *BayDir Servicios*. Obtenido de Hoja de datos de seguridad:
http://www.cropscience.bayer.cl/msds/Baydir_HS_Antracol_70_WP.pdf
- Benintende, s., Benintende, M., Sterren, M., Saluzzio, M., & Barbagelata, P. (2015). Biological variables as soil quality indicators: effect of sampling time and ability to classify soils by their suitability. *Ecological indicators*, 147-152.
- Blume, H.-P., Brummer, G. W., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Knabner, I. K., . . . Wilke, B. M. (2016). *Scheffer/ Schachtschabel Soil Science* . Berlin: Springer.
- Bolsa de comercio de Rosario: complejo de laboratorios. (10 de 03 de 2016). *Toma de muestras en analisis del suelo*. Obtenido de Etapas de la toma de muestra para analisis de suelo:
<https://www.bcr.com.ar/Laboratorio%20Varios/Instructivo%20toma%20de%20muestras%20de%20suelo.pdf>

- Camara de Comercio de Bogota. (2005). *Catedra Abierta Bogota en Localidades*.
Obtenido de Pasado, presente y futuro de la localidad de Usme:
http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Localidades/Usme/Pasado_Presente_Futuro_Usme-CCB.pdf
- Campillo, R., & Sadzawka, A. (1993). *La acidificacion de los suelos origen y mecanismos involucrados*. Obtenido de
<http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR33853.pdf>
- Cantu, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiavo, H. F. (2007). Evaluacion de la Calidad de Suelos Mediante el Uso de Indicadores e Indices. *Ciencia del Suelo* V. 25, 2.
- Carter, M., Gregorich, E., Anderson, D., JW, D., Janzen, H., & Pierce, F. (1997). Concepts of soil quality and their significance. *Soil quality for crop production and ecosystem health*.
- Casierra, P. F., & Aguilar, A. O. (2007). Estres por Aluminio en plantas: reacciones en el suelo, sintomas en vegetales y posibilidades de correccion. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 246-257.
- Chile, U. d. (11 de 07 de 2016). *Guia de Clases Practicas*. Obtenido de Edafologia:
http://www.grn.cl/MANUAL%20EDAFOLOGIA%20_2004.pdf
- Ciencia, C. (05 de 08 de 2016). *El estudio de la salud del suelo: un reto para químicos y microbiólogos*. Obtenido de <http://www.compostandociencia.com/2014/01/salud-del-suelo-html/>
- Cortez, F. D. (2014). *informe N 3 Granulometria*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Daza, T. M., Hernandez, F. F., & Triana, F. A. (2014). Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hidrico en el Paramo de Sumapaz-Colombia. *Fac.Nal.Agr.Medellin*, 7189-7200.
- Dick, R., Rasmussen, P., & Kerle, E. (1988). Influence of long term residue management on soil enzyme activities in relation to soil chemical properties of a wheat-fallow system. *Biol. fert. soils* 6, 159-164.
- Doran, J., & Parkin, B. (1994). Defining soil quality for a sustainable environment. *Soil science society of America*, 35.
- Ecoplexity. (17 de 07 de 2016). *Porcentaje de materia orgánica*. Obtenido de <http://ecoplexity.org/?q=node/821>
- Fabietti, G., Biasioli, M., Barberis, R., & Ajmone-Marsan, F. (2009). Soil contamination by organic and inorganic pollutants at the regional scale: the case of Piedmont, Italy. *Springer-Verlag*.

- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Obtenido de Contenido de materia orgánica: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- FAO. (05 de 08 de 2016). *Portal de Suelo de la FAO*. Obtenido de Salud Global del suelo: <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/evaluacion-de-los-indicadores-globales-de-la-salud-del-suelo/salud-global-del-suelo/es/>
- FAO. (17 de 07 de 2016). *Portal de Suelos de la FAO*. Obtenido de Suelos Ácidos: <http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-acidos/es/>
- Fassbender. (1984). *Bases edafológicas de los sistemas de producción agroforestales*. CATIE.
- Florez, D. L., & Alcalá, M. J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. Ciudad de México: UNAM.
- García, I., & Dorronsoro, C. (2000). *Contaminación del suelo*. Granada: Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada.
- Gerzabek, M., Antil, R., Kogel, K., Knicker, H., & Kirchmann, H. (2006). How are soil use and management reflected by soil organic matter characteristics: a Spectroscopic approach. *Eur.J.Soil Sci.* 57, 485-494.
- Giacometti, C., Demyan, M. S., Cavani, L., Marzadori, C., Ciavatta, C., & Kandeler, E. (2013). Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. *Applied soil ecology*, 32-48.
- Gisbert, B. J., Ibañez, A. S., & Moreno, R. H. (12 de 07 de 2016). *El espacio poroso del suelo*. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16873/AD%20espacio%20poroso.pdf?sequence=1>
- Ibañez, J. J. (15 de 12 de 2005). *Un universo invisible bajo nuestros pies*. Obtenido de Contaminación orgánica del suelo, progreso y Salud humana: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2005/12/15/10782>
- IDEAM. (28 de 06 de 2016). *Ecosistemas*. Obtenido de Monitoreo y seguimiento del estado de la calidad de los suelos: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/monitoreo-seguimiento-estado-calidad-suelos>
- IGAC. (2014). *Manejo de Suelo Colombianos*. Bogotá: Imprenta Nacional.
- Inecc. (2007). *Análisis físicos y químicos en suelo*. México: Inecc.

- Junta de Andalucía. (07 de 08 de 2016). *Revisión de normativas. Umbrales de contaminación*. Obtenido de Contaminantes Orgánicos: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Estado_Y_Calidad_De_Los_Recursos_Naturales/Suelo/Criterios_pdf/Contaminantes.pdf
- Keeney, D. (1999). Soil quality: a call for action. *conservat. voices*, 4-5.
- Leon Gracia, J. C. (2012). *Plan Ambiental Local*. Obtenido de Alcaldía Local de Usme: <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883159/PAL+USME+2013-2016.pdf>
- Mataix, S. J. (09 de 03 de 2009). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración*. Obtenido de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/9988/4/Mataix%20Solera,%20Jorge_3.pdf
- McKean, S. (Agosto de 1993). *ciat - library*. Obtenido de Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/S593.M2_Manual_de_an%C3%A1lisis_de_suelos_y_tejido_vegetal_Una_gu%C3%ADa_te%C3%B3rica_y_pr%C3%A1ctica_de_metodologia.pdf
- Mendoza, H. E. (2016). *Densidad Real Aparente y Porosidad del Suelo*. Lima, Peru.
- Miliarium. (2004). *Contaminantes del suelo*. Obtenido de Generación de residuos y contaminación por diversos sectores productivos: <http://www.miliarium.com/Proyectos/SuelosContaminados/ArchivosMemoria/ContaminantesSuelos.asp>
- Minerales de Colección. (11 de 07 de 2016). *Mineales Tienda de Minerales*. Obtenido de Goethita: <http://www.mineral-s.com/goethita.html>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL AMBIENTAL DEL SUELO (GIAS)*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Munsell Color. (06 de 04 de 2012). *Munsell Soil Color Description Terms*. Obtenido de <http://soils.ifas.ufl.edu/wgharris/SEED/Munsell%20Soil%20Color%20Description%20Terms.pdf>
- Navarro, G. G., & Navarro, G. S. (2013). *Química Agrícola, La química del suelo y de nutrientes esenciales*. Murcia: Mundi-Prensa Libros.
- Nielsen, U., Wall, D., & Six, J. (2015). Soil Biodiversity and the environment. *Annual reviews further*, 63-90.

- NRCSS. (1999). *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition.* Washington, DC: Government Printing Office.
- NRCSS. (Enero de 2015). *Soil Quality Indicators.* Obtenido de Physical, Chemical, and Biological Indicators for Soil Quality Assessment and Management: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387>
- O'neill, K., Amacher, M., & Palmer, C. (2005). Developing a national indicator of soil quality on U.S forestlands: methods and initial results. *Environmental monitoring and assessment* 107, 59-80.
- Ordoñez, M. C., Galicia, L., Apolinar, F., Bravo, I., & Peña, M. (2015). Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean soils of Colombia. *European Journal of Soil Biology*, 28-36.
- Ordoñez, M. C., Galicia, L., Figueroa, A., Bravo, I., & Peña, M. (2015). Effects of peasant and indigenous soil management practices on the biogeochemical properties and carbon storage services of Andean Soils of Colombia. *European Journal of Soil Biology* 71, 28-36.
- Ortiz, E. M., Zapata, H. R., Sadeghian, K. S., & Franco, A. H. (2004). Aluminio intercambiable en suelos con propiedades andicas y su relación con la toxicidad. *Cenicafe*, 101-110.
- Ovalles, F. (2003). El color del suelo: definiciones e interpretaciones. *Revista digital del centro nacional de investigaciones agropecuarias de Venezuela.*
- Peñaloza, P. J. (2013). CONTAMINACIÓN. *DELOS*, 13.
- Perez, B. L. (2008). *Evaluación microbiológica de la calidad del suelo en cultivos de tabaco (Nicotina Tabacum) en los municipios de Giron y Piedecuesta (Santander) utilizando como indicadores los grupos funcionales de microorganismos.* Obtenido de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/113/2/129174.pdf>
- Perez, M. A. (Enero de 2010). Sistema Agroecológico Rápido de Evaluación de Calidad de Suelo y Salud de cultivos. Bogota, Cundinamarca, Colombia.
- Prieto, M. j., Prieto, G. F., & QAcavedo, S. O. (2013). INDICADORES E ÍNDICES DE CALIDAD DE LOS SUELOS (ICS) CEBADEROS DEL SUR DEL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 24(1), 83-91.
- PROCOLOMBIA,. (29 de 11 de 2016). *Clima* . Obtenido de El clima en Colombia: <http://www.colombia.travel/es/informacion-practica/clima>

- Quiros, S., & Gonzales, M. (1979). Neutralización del aluminio intercambiable y aprovechamiento del fósforo en tres suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 137-149.
- Reeves, D. (1997). The role of organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Till*, 131-167.
- Regalado, M. A., Peralta, R. E., & Gonzalez, R. C. (2008). Como hacer un modelo matemático. *Temas de ciencia y Tecnología*, 9-18.
- Reyes, G. M., & Barreto, L. (2011). Efecto de la materia orgánica del suelo en la retención de contaminantes. *Epsilon*, 31-45.
- Roming, D., Garlyng, M., RF, H., & McSweeney, K. (1995). How farmers assess soil health and quality. *Soil water conservation*, 229-236.
- Rucks, Garcia, Kaplan, Leon, P. d., & Hill. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Montevideo: UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA.
- Sainz, R. H., Echeverría, H. E., & Angelini, H. (2006). *Informaciones Agronómicas*. Obtenido de Niveles de la materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la región pampeana y extrapampeana argentina: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/763CD09F960A786D852579830071448F/\\$FILE/6.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/763CD09F960A786D852579830071448F/$FILE/6.pdf)
- Salvati, L., Ferrara, C., & Corona, P. (2015). • Indirect validation of the environmental sensitive area index using soil degradation indicators: a country-scale approach. *Ecological Indicators*, 360-365.
- Sanchez, L., Gomez, S., Palacios, F., Gracia, O., Cocoma, A., & Bejarano, S. (Septiembre de 2012). *Ideam*. Obtenido de Programa nacional de monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras en Colombia: http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/Adicionalmente+consulte_C2-C-RE-S%C3%A1nchez,+R.pdf/d5a21efa-18e7-486c-b925-80560ae91b3c
- Sanchez, N. L. (16 de 07 de 2016). *Civilgeeks*. Obtenido de Granulometría de suelos: <http://civilgeeks.com/2013/11/25/granulometria-suelos-ing-nestor-luis-sanchez/>
- Sarathjith, M., Sankar Das, B., Wani, S., & Sahrawat, K. (2016). • Variable indicators for optimum wavelength selection in diffuse reflectance spectroscopy of soils. *Geoderma*, 1-9.
- Sata. (30 de 07 de 2009). *Guía para la protección y nutrición vegetal*. Obtenido de Propineb: http://laguiasata.com/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=122:propineb-&catid=43:principios-activos&Itemid=54
- Schlöter, M., Dilly, O., & Munch, J. (2003). Indicators for evaluating soil quality. *Agr. Ecosyst. Environ* 98, 255-262.

- Secretaria Distrital de Ambiente. (11 de 03 de 2016). *Conceptos básicos*. Obtenido de <http://ambientebogota.gov.co/web/escombros/conceptos-basicos>
- Secretaria Distrital de Planeacion. (2011). *21 Monografias de las Localidades*. Obtenido de # 5 Usme:
<http://www.sdp.gov.co/portal/page/portal/PortalSDP/InformacionEnLinea/InformacionDescargableUPZs/Localidad%205%20Usme/Monograf%EDa/5%20USME%20monografia%202011.pdf>
- Sermanat. (10 de 03 de 2016). *Parametros para suelo de cultivo*. Obtenido de NOM-21-RECNAT 2000.:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mbt/maqueda_g_ap/apendiceB.pdf
- Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2010). *Ciencia del suelo: Principios Basicos*. Bogota: Hernan Burban Orjuela y Francisco Silva Mojica Editores.
- Sociedad de Agricultores de Colombia. (01 de 03 de 2016). *Estadisticas*. Obtenido de Superficie Cosechada: <http://www.sac.org.co/es/estudios-economicos/estadisticas.html>
- Standard Methods. (12 de 03 de 2016). *Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry*. Obtenido de Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry:
<https://www.standardmethods.org/store/ProductView.cfm?ProductID=206>
- Steer, A. (1998). Making development sustainable. *Adv. Geo-Ecol* 31, 857-865.
- Syngenta. (11 de 09 de 2006). *Hoja de informacion de seguridad*. Obtenido de Engeo:
<http://www3.syngenta.com/country/cl/cl/soluciones/proteccioncultivos/Documents/HojaSeguridad/Engeo.pdf>
- Syngenta. (28 de 06 de 2016). *Curacron*. Obtenido de Insecticida:
[http://www3.syngenta.com/country/co/sp/Soluciones/Fichas%20Tecnicas%20Productos/CO-CURACRON%20500%20EC-Rev\[1\].pdf](http://www3.syngenta.com/country/co/sp/Soluciones/Fichas%20Tecnicas%20Productos/CO-CURACRON%20500%20EC-Rev[1].pdf)
- Tecnico Agricola. (20 de 02 de 2013). *pH del Suelo*. Obtenido de <http://www.tecnicoagricola.es/ph-de-un-suelo/>
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (1988). *Los suelos y su Fertilidad*. Reverte.
- Trujillo, C. R. (2013). *Dinamica de la Contruccion por usos*. Obtenido de Localidad de Usme: <http://www.catastrobogota.gov.co/sites/default/files/20.pdf>
- UAM. (2011). *Regresion Multiple*. Obtenido de http://www.estadistica.net/ECONOMETRIA/MULTIVARIANTE/REGRE_MULTIPLE/regresion-multiple.pdf

- UChile. (11 de 07 de 2016). *Textura*. Obtenido de <http://www.sap.uchile.cl/descargas/suelos/029Textura.pdf>
- UNAD. (17 de 07 de 2016). *Propiedades y contaminacion del suelo*. Obtenido de Contenido de Materia Organica y Fertilidad: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358013/ContenidoEnLinea/leccin_10_contenido_de_materia_orgnica_y_fertilidad.html
- UNAD. (17 de 01 de 2017). *Lección 26. Densidad aparente, Porosidad y Estabilidad de agregados*. Obtenido de Densidad aparente y Porosidad: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/leccin_26_densidad_aparente_porosidad_y_estabilidad_de_agregados.html
- Universidad CentroAmericana. (16 de 07 de 2016). ANALISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS POR TAMIZADO EN AGREGADO FINO Y GRUESO Y DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ No. 200 (75 μm) EN AGREGADO MINERAL POR LAVADO. San Salvador, Salvador.
- Universidad de Chile. (17 de 07 de 2016). *Modulo 11: Determinacion del pH y Conductividad electrica del suelo*. Obtenido de pH del suelo: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.1.htm
- Universidad Nacional Autonoma de Mexico. (2010). Manual de procedimiento analiticos. Mexico, Mexico.
- UPM. (17 de 01 de 2017). *Estimacion de la densidad aparente*. Obtenido de <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-9/ESTIMACION-DE-LA-DENSIDAD-APARENTE.pdf>
- UPRM. (2002). *CUARTA PARTE*. Obtenido de ENUMERACION BACTERIANA: EL NUMERO MAS PROBABLE: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p4-nmpenumeracion.pdf>
- Uribe, L. (1999). Uso de indicadores microbiologicos de suelos: ventajas y limitantes. *Congreso Nacional Agronomico*. XI.
- USDA. (2001). *Guidelines for Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning in Conservation Planning Conservation Planning*. Obtenido de http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051259.pdf
- USDA. (11 de 07 de 2016). *Guide to Texture by Feel*. Obtenido de http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054311
- USDA. (13 de 03 de 2016). *Natural Resources Conservation Service Soils*. Obtenido de Soil Quality Indicator Sheets:

<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387>

USDA. (18 de 07 de 2016). *NSSH Part 618 (Subpart A)*. Obtenido de Soil Properties and Qualities:

http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054223

Usda. (22 de 06 de 2016). *Soil Survey Manual - Chapter Three*. Obtenido de Examination and Description of Soils:

http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/nedc/training/soil/?cid=nrcs142p2_054253

USDA, NRCS. (Junio de 2008). Soil Quality Indicators. Atlanta, Estados Unidos.

USDA, NRCS. (Junio de 2008). Soil Quality Indicators. Atlanta, Estados Unidos. Obtenido de Bulk Density.

Vallejo-Quintero. (2013). IMPORTANCIA Y UTILIDAD DE LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELOS MEDIANTE EL COMPONENTE MICROBIANO: EXPERIENCIAS EN SISTEMAS SILVOPASTORILES. *Colombia Forestal*, 83-99.

Van Bruggen, A., Sharma, Kalpana, Kaku, E., Karfopoulos, S., Zelenev, V., & Blok, W. (2015). Soil health indicators and fusarium wilt suppression in organically and conventionally managed greenhouse soils. *Applied soil ecology*, 192-201.

Wong, C., & Michalos, A. (2014). *Indicador Methodology*. New York: Philadelphia: Springer Science and Business Media.

Zsolnay, A. (2003). Dissolved organic matter: artefacts, definitions and fuctions. *Geoderma* 113, 187-209.