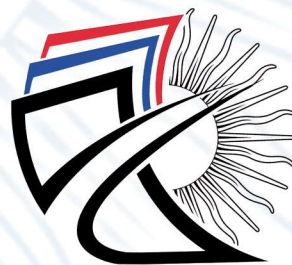


EL SUELO

Principios y Análisis

Miguel Ángel Osorio Rivera
Sandra Elizabeth López Sampedro
Juan Pablo Haro Altamirano
William Estuardo Carrillo Barahona



**PUERTO MADERO
EDITORIAL**

1era Edición
2023



puertomaderoeditorial.com.ar



La Plata - Argentina

EL SUELO

Principios y Análisis

AUTORES: Miguel Ángel Osorio Rivera, Sandra Elizabeth López Sampedro
Juan Pablo Haro Altamirano, William Estuardo Carrillo Barahona

ISBN: 978-987-82912-0-8



EL SUELO

Principios y Análisis

AUTORES:

Miguel Ángel Osorio Rivera
Sandra Elizabeth López Sampedro
Juan Pablo Haro Altamirano
William Estuardo Carrillo Barahona



El suelo : principios y análisis / Miguel Angel Osorio Rivera ... [et al.] ; editado por Guido Patricio Santillán Lima ; Daniela Margoth Caichug Rivera ; Juan Carlos Santillán Lima. - 1a ed revisada. - La Plata : Puerto Madero Editorial Académica, 2023.

Libro digital, PDF/A

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-82912-0-8

1. Suelos. I. Osorio Rivera, Miguel Angel. II. Santillán Lima, Guido Patricio, ed. III. Caichug Rivera, Daniela Margoth, ed. IV. Santillán Lima, Juan Carlos, ed.
CDD 631.401



Licencia Creative Commons:

Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)



Primera Edición, Marzo 2023

**EL SUELO.
PRINCIPIOS Y ANÁLISIS**

ISBN: 978-987-82912-0-8

DOI: <https://doi.org/10.55204/pmea.29>

Editado por:

Sello editorial: ©Puerto Madero Editorial Académica
N° de Alta: 933832

Editorial: © Puerto Madero Editorial Académica

CUIL: 20630333971

Calle 45 N491 entre 4 y 5

Dirección de Publicaciones Científicas Puerto Madero Editorial Académica

La Plata, Buenos Aires, Argentina

Teléfono: +54 9 221 314 5902

+54 9 221 531 5142

Código Postal: AR1900

Este libro se sometió a arbitraje bajo el sistema de doble ciego (peer review)

Corrección y diseño:

Puerto Madero Editorial Académica

Diseñador Gráfico: José Luis Santillán Lima

Diseño, Montaje y Producción Editorial:

Puerto Madero Editorial Académica

Diseñador Gráfico: Santillán Lima, José Luis

Director del equipo editorial:

Santillán Lima, Juan Carlos

Editor:

Santillán Lima, Guido Patricio

Caichug Rivera, Daniela Margoth

Santillán Lima, Juan Carlos

Hecho en Argentina

Made in Argentina

AUTORES:

Miguel Ángel Osorio Rivera

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Panamericana Sur km 1
1/2, (EC060155), Riobamba, Ecuador
miguel.osorio@epoch.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0002-8641-2721>

Sandra Elizabeth López Sampedro

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Panamericana Sur km 1
1/2, (EC060155), Riobamba, Ecuador
salopez@epoch.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0003-0209-2087>

Juan Pablo Haro Altamirano

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Panamericana Sur km 1
1/2, (EC060155), Riobamba, Ecuador
juanpablo.haro@epoch.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0001-8538-3191>

William Estuardo Carrillo Barahona

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Panamericana Sur km 1
1/2, (EC060155), Riobamba, Ecuador
estuardo.carrillo@epoch.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0002-1432-9638>

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	xi
CAPÍTULO 1.....	3
GENERALIDADES.....	3
1.1 Definiciones. ¿Qué es el suelo?.....	3
1.2 Origen.....	4
1.2.1 Factores que intervienen en la formación del suelo	4
1.2.1.1 Material original.....	4
1.2.1.2 Clima	4
1.2.1.3 Organismos.....	4
1.2.1.4 Topografía	4
1.2.1.5 Tiempo	5
1.3 Composición y Morfología	5
1.3.1 Componentes Orgánicos	6
1.3.2 Componentes Inorgánicos	7
1.3.2.1 Primarios	7
1.3.2.2 Secundarios	7
1.3.3 Perfiles del suelo	8
1.3.3.1 Horizonte O	9
1.3.3.2 Horizonte O	9
1.3.3.3 Horizonte E	9
1.3.3.4 Horizonte B	10
1.3.3.5 Horizonte C	10
1.4 Composición y Morfología	10
1.4.1 Propiedades Físicas	10
1.4.1.1 Textura	10
1.4.1.2 Estructura	11
1.4.1.3 Color.....	11
1.4.1.4 Densidad.....	12
1.4.1.5 Porosidad.....	13
1.4.2 Propiedades Químicas	13
1.4.2.1 Salinidad.....	13
1.4.2.2 Capacidad de Intercambio	14
1.4.2.3 Porcentaje de saturación de base	14

1.4.2.4	Fertilidad	15
1.4.2.5	pH.....	15
1.4.3	Propiedades Biologicas	16
1.4.3.1	Biodiversidad	16
1.4.3.2	Materia Orgánica.....	17
1.4.3.3	Respiración.....	17
1.4.3.4	Carbono de biomasas microbianas	17
1.5	Clasificación.....	18
1.5.1	Según su funcionalidad	18
1.5.1.1	Suelo arcilloso	18
1.5.1.2	Suelos arenosos	18
1.5.1.3	Suelo calizo	19
1.5.1.4	Suelos Humíferos	19
1.5.1.5	Suelos Pedregosos	20
1.5.1.6	Suelos mixtos	20
1.5.2	Según sus características físicas	21
1.5.2.1	Litsoles	21
1.5.2.2	Cambisoles	22
1.5.2.3	Luvisoles	22
1.5.2.4	Acrisoles.....	23
1.5.2.5	Gleysols	23
1.5.2.6	Fluvisols	24
1.5.2.7	Rendzina.....	24
1.5.2.8	Vertisols.....	25
1.6	Clasificación.....	25
1.7	Funciones básicas.....	26
1.7.1	Funciones Ecológicas.....	26
□	Producción de biomasa.....	26
1.7.2	Funciones vinculadas al ser humano	26
1.8	Principales fuentes de contaminación	27
1.8.1	Fuentes geogénicas naturales	27
1.8.2	Fuentes Antropogénicas	28
1.8.2.1	Actividades industriales	28
1.8.2.2	Infraestructuras urbanas y de transportes	28
1.8.2.3	Generación y eliminación de desechos y aguas residuales	29
1.8.2.4	Actividades militares y guerras	29

1.8.2.5	Actividades agrícolas y ganaderas	29
1.8.2.6	Minería	29
1.9	Manejo y cuidado	30
CAPÍTULO 2.....		31
CALIDAD DEL SUELO		31
2.1	Principios sobre calidad del suelo	31
2.2	Criterios que afectan la calidad del suelo	32
2.2.1	Productividad y sostenibilidad	32
2.2.2	Calidad ambiental.....	32
2.2.3	Biodiversidad	32
2.2.4	Bienestar humano	32
2.3	Muestreo del Suelo.....	33
2.3.1	Tipos de muestreo	33
2.3.1.1	Muestreo de Identificación (MI)	33
2.3.1.2	Muestreo de Detalle (MD)	34
2.3.1.3	Muestreo de Nivel de Fondo (MF).....	35
2.3.1.4	Muestreo de Nivel de Fondo (MF).....	35
2.3.2	Tipos de muestra muestreo.....	37
2.3.2.1	Muestra simple	38
2.3.2.2	Muestra compuesta.....	38
2.3.3	Protocolo para muestreo.....	38
2.3.3.1	Definir los objetivos	39
2.3.3.2	Zonificación	40
2.3.3.3	Número de muestras.....	40
2.3.3.4	Reconocimiento del Sitio	40
2.3.3.5	Reconocimiento del Sitio	40
2.3.3.6	Preservación y almacenamiento de muestras	41
2.4	Muestreo del Suelo.....	42
2.4.1	Protocolo para muestreo.....	43
2.5	Clasificación de los indicadores de calidad.....	44
2.5.1	Indicadores físicos.....	44
2.5.1.1	Textura	44
2.5.1.2	Profundidad del Suelo	45
2.5.1.3	Infiltración, Densidad Aparente y Densidad Real.....	45
2.5.1.4	Densidad Real	46

2.5.2	Indicadores químicos.....	47
2.5.2.1	Materia Orgánica (MO).....	47
2.5.2.2	Nitrógeno (N).....	47
2.5.2.3	Fósforo Soluble (Ps).....	48
2.5.2.4	Calcio, magnesio y potasio.....	48
2.5.2.5	Azufre.....	48
2.5.2.6	Hierro y manganeso	48
2.5.2.7	Cobre y zinc	48
2.5.2.8	Boro.....	48
2.5.2.9	Molibdeno	48
2.5.2.10	Porcentaje de saturación de bases.....	49
2.5.2.11	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	49
2.5.3	Indicadores biológicos.....	49
2.5.3.1	Biomasa microbiana.....	49
2.6	Aplicación de los indicadores de calidad.	52
CAPÍTULO 3.....		55
TÉCNICAS EMPLEADAS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS		55
3.1	Clasificación de los indicadores de calidad.....	55
3.2	Seguridad en el laboratorio	56
3.3	Reglas básicas	57
3.3.1	Genéricas.....	57
3.3.2	Específicas.....	58
3.3.3	Residuos	59
3.3.3.1	Inflamables y combustibles.....	59
3.3.4	Almacenamiento seguro.....	60
3.4	Procedimientos ante emergencias	60
3.4.1	Emergencias médicas	60
3.4.2	Incendios	60
3.4.3	Derrames de productos químicos	61
3.5	Análisis para determinar la calidad del suelo.....	62
3.5.1	Determinación de Textura.....	62
3.5.1.1	Método del hidrómetro o densímetro de Bouyoucos	62
3.5.1.2	Método organoléptico o del tacto (Nadal, 1978. Escuredo ET Al., 1983; Del Carmen, 1984; Hereter ET Al., 1988).....	65
3.5.1.3	Método de observación de capas de sedimentación (Neviani,1975; Nadal, 1978; Del Carmen, 1984).....	67

3.5.1.4	Método dispersión-sedimentación.....	68
3.5.1.5	Método de la pipeta.....	69
3.5.2	Determinación de la Densidad Aparente.....	71
3.5.2.1	Método del Cilindro	71
3.5.2.2	Método del Hoyo.....	74
3.5.2.3	Métodos radiométricos.....	75
3.5.2.4	Método del terrón parafinado	77
3.5.3	Determinación del pH	79
3.5.3.1	Método Potenciométrico	79
3.5.3.2	Método Potenciométrico	80
3.5.4	Materia Orgánica (MO).....	81
3.5.4.1	Por combustión húmeda por el método de Walkey y Black	82
3.5.5	Determinación del Fosforo (P).....	83
3.5.5.1	Método de Bray – Kurtz.....	83
3.5.5.2	Método de Olsen	86
3.5.6	Determinación de Nitrógeno Total (N)	87
3.5.6.1	Método de digestión húmeda	87
CAPÍTULO 4.....		91
INDICES DE CALIDAD DEL SUELO		91
4.1	¿Qué es un índice de calidad del suelo?.....	91
4.2	Tipos de índices de Calidad del Suelo.....	91
4.2.1	Índice de la Calidad del Suelo SQI	91
4.2.2	Índice Integrado de Fertilidad	94
4.2.3	Índice de Riesgo Ecológico Potencial	96
4.2.4	Índice de Calidad del Suelo Morfológico (FSQI)	96
BIBLIOGRAFÍA.....		99
Anexos		109
DE LOS AUTORES.....		111
Miguel Ángel Osorio Rivera.....		111
Sandra Elizabeth López Sampedro		111
William Estuardo Carrillo Barahona.....		112

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1-1: Composición del Suelo	5
Gráfico 2-1: Horizontes del suelo.....	8
Gráfico 3-1: Horizontes del suelo.....	9
Gráfico 4-1: Porcentajes de arcilla, limo y arena según las texturas básicas del suelo.....	10
Gráfico 5-1: Tabla de color Munsell.....	11
Gráfico 6-1: Tamaños de poros en distintos tipos de suelos.	13
Gráfico 7-1: Salinidad en los suelos.	13
Gráfico 8-1: Porcentaje de saturación de base	14
Gráfico 9-1: Categoría de las regiones naturales para los suelos en función al pH.	16
Gráfico 10-1: Macrofauna edáfica.....	16
Gráfico 11-1: Distintos tipos de Macrofauna edáfica.....	17
Gráfico 12-1: Suelo arcilloso	18
Gráfico 13-1: Suelo arenoso	19
Gráfico 14-1: Suelo calizo.....	19
Gráfico 15-1: Suelo húmíferos	20
Gráfico 16-1: Suelo pedregosos.....	20
Gráfico 17-1: Suelo mixto.....	21
Gráfico 18-1: Suelo litosol.....	21
Gráfico 19-1: Suelo cambisol.....	22
Gráfico 20-1: Suelo luvisol.....	22
Gráfico 21-1: Suelo acrisol	23
Gráfico 22-1: Suelo gleysol	24
Gráfico 23-1: Suelo Fluvisol	24
Gráfico 24-1: Suelo rendzina.....	24
Gráfico 25-1: Suelo vertisol	25
Gráfico 2-2: Posicionamiento de Puntos de Muestreo en áreas regulares (cuadrado)	36
Gráfico 3-2: Posicionamiento de Puntos de Muestreo en áreas regulares (rectángulo).	36
Gráfico 4-2: Posicionamiento de Puntos de Muestreo en áreas irregulares.	37
Gráfico 5-2: Procedimientos de la toma de muestra.	38
Gráfico 6-2: Esquema del protocolo para muestreo	39
Gráfico 7-2: Equipos y materiales requeridos para el monitoreo del suelo.....	41
Gráfico 8-2: Equipos y materiales requeridos para el monitoreo del suelo.....	42
Gráfico 9-2: Equipos y materiales requeridos para el monitoreo del suelo.....	43

Gráfico 10-2: Textura del suelo mediante la herramienta del tacto	45
Gráfico 11-2: Microorganismos del suelo	50
Gráfico 1-3: Método de hidrómetro de Bouyoucos	63
Gráfico 2-3: Diagrama textural para la muestra de suelo.....	65
Gráfico 3-3: Determinación de la textura del suelo al tacto (bola de 2,5 cm).	65
Gráfico 4-3: Textura de suelo Franco Pesado, Limo y Arcilla.....	66
Gráfico 5-3: Método de hidrómetro de Bouyoucos	67
Gráfico 6-3: Determinación de la textura del suelo por sedimentación y dispersión.....	68
Gráfico 7-3: Análisis de tamaño de partícula con una pipeta.	70
Gráfico 8-3: Cilindro para la determinación de la densidad aparente.....	72
Gráfico 9-3: Método del Hoyo.....	74
Gráfico 10-3: Sonda de superficie en posición de medición del contenido de agua y densidad aparente de la capa superficial del suelo.....	75
Gráfico 11-3: Método del terrón parafina	78
Gráfico 12-3: PH140 Medidor para mesa, de pH, mV, mV relativos y temperatura.	79
Gráfico 13-3: PH140 Medidor para mesa, de pH, mV, mV relativos y temperatura Conductronic	80
Figura 14-3: Tiras Reactivas de pH.....	81
Gráfico 15-3: Coloraciones obtenidas durante titulación.....	82
Gráfico 16-3: Método Kjeldahl, Análisis de Nitrógeno Kjeldahl.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Propiedades del suelo que cambian con el transcurso del tiempo.	5
Tabla 2-1. Clasificación de las partículas del suelo.	8
Tabla 1-2: Relación entre la calidad del suelo y sus propiedades	31
Tabla 2-2. Clasificación de la profundidad efectiva del suelo	45
Tabla 2-2: Relación entre la densidad aparente y la porosidad total	46
Tabla 3-2. Relación con la condición y función del suelo.....	51
Tabla 4-2. Indicadores potenciales de la calidad del suelo	52
Tabla 1-3: Pictogramas del laboratorio.	56
Tabla 2-3: Factor de corrección por temperatura	63
Tabla 3-3: Valores esperables de densidad aparente (Da) por el método del cilindro.	73
Tabla 4-3. Valorización del pH	80
Tabla 5-3. Valorización del porcentaje de materia orgánica	83
Tabla 6-3: Criterios para determinar la calidad de un suelo en función a su contenido de fósforo.	85
Tabla 7-3: Criterios para determinar la calidad de un suelo en función a su contenido de fósforo.	87
Tabla 8-3. Clasificación de suelos según el contenido de nitrógeno total.....	89
Tabla 1-4. Datos generales	95
Tabla 2-4. Representación del valor de membresía	95
Tabla 3-4. Factores de ponderación morfológicos	97

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento profundo a nuestras autoridades de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial al PhD. Byron Vaca -Rector; PhD. Jenny Basantes -Vicerrectora Académica, MSc. Landy Ruiz Vicerrectora Administrativa, y, PhD. Pablo Vanegas, Vicerrector de Investigación y Posgrado. A las autoridades de la Sede Morona Santiago, en especial al Ing. Alex Erazo -Director e Ing. Ángel Flores - Coordinador, por el apoyo constante para que la ESPOCH siga creciendo dentro de sus funciones sustantivas.

A nuestro equipo de trabajo integrado por los docentes de la Sede Morona Santiago y la Matriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: Miguel Ángel Osorio Rivera, Sandra Elizabeth López Sampedro, Juan Pablo Haro Altamirano, William Eduardo Carrillo Barahona, quienes dedicaron su tiempo, conocimiento y horas en la escritura del libro. Queremos agradecer de forma especial a nuestras familias, quienes con su apoyo y motivación han sido el pilar fundamental para que cada uno de los autores pueda cumplir a cabalidad el trabajo propuesto para desarrollar los contenidos del libro.

Finalmente, agradecemos de manera general a nuestros compañeros de trabajo y a los estudiantes Anghela Rodríguez y Moisés Narváez, por el apoyo brindado para la publicación de este libro.

INTRODUCCIÓN

El presente texto ha sido diseñado con la finalidad de facilitar la comprensión de varios parámetros de interés en cuanto a la composición y análisis químico del suelo, por tal razón se lo ha esquematizado tomando en cuenta cuatro capítulos para su desarrollo. En el primer capítulo se presentan las generalidades acerca del suelo, en éste se describe conceptos breves e importantes acerca de la clasificación, definiciones, tipos entre otros tópicos que servirán para comprender de mejor manera la morfología, uso y propiedades del mismo.

Por otra parte, en el segundo capítulo se hace referencia a la calidad del suelo donde se especifica de manera puntual los pasos para el muestreo y la clasificación de los índices físico, químicos y biológicos como parte de la aplicación práctica. En el capítulo tres se describen las técnicas empleadas en el análisis de suelos a nivel de laboratorio, por cuanto es el punto de partida para la generación de datos que se obtienen de diversos estudios, entendiéndose al trabajo de laboratorio como procedimiento fundamental en el avance científico, es así que de cada una de las técnicas describe su fundamento, proceso, cálculos e interpretación de los mismos.

Finalmente el capítulo cuatro analiza los índices de calidad del suelo por medio del planteamiento y la resolución de ejercicios prácticos, fruto de la investigación de los autores, es así que para facilitar la comprensión de los índices de calidad se desarrolla, una descripción matemática puntual sobre los datos para calcular índices integrados de fertilidad, de riesgo ecológico y calidad del suelo morfológico; cuyo fin es analizar de manera conjunta los parámetros de calidad establecidos en el segundo capítulo de este texto.

CAPÍTULO 1

1 GENERALIDADES

1.1 Definiciones. ¿Qué es el suelo?

Existen autores que plantean diferentes conceptos al hablar del suelo, como por ejemplo (Juárez & Rico, 2005) definen al suelo como un conjunto organizado y con propiedades que varían de acuerdo al uso. Por otra parte (Lozano Rivas, 2018) afirma que también se lo puede definir desde la visión del área de interés que se implica a este; es así que se plantean diferentes conceptos:

Geológicamente se lo define como aquel material intemperizado en el lugar donde no se encuentra consolidado y está presente sobre el lecho rocoso (Juárez & Rico, 2005) (Lozano Rivas, 2018).

La Ingeniería Civil lo expresa como el material sobre el cual se puede construir, excavar y utilizar para la construcción según las propiedades y características requeridas para una obra (Lozano Rivas, 2018).

La agricultura lo considera como la capa de materia fértil o vegetal que recubre la parte superficial de la corteza terrestre y que tiene como finalidad cumplir la función importante de dar sustento, soporte vital, captación de nutrientes y agua para la vegetación, animales y seres humanos (Juárez & Rico, 2005) (Lozano Rivas, 2018).

No menos importante desde la perspectiva ambiental el concepto del suelo engloba todas las visiones mencionadas previamente, pero enfatizando su rol fundamental en todos los procesos ecosistémicos, debido a sus diferentes propiedades, características y funciones; considerando que además regula, e y contribuye a los otros recursos naturales para poder controlar los efectos de los diversos contaminantes (Lozano Rivas, 2018).

Podemos entonces definir al suelo como un recurso natural que se origina por los residuos sólidos de los seres vivos, por alteraciones físicas y químicas de las rocas u otros

procesos naturales (INIA Tacuarembó 2015). Este a su vez es un recurso no renovable, que se considera como uno de los componentes fundamentales en la biosfera aquella parte superficial terrestre activa, variada, multiforme y gracias a su dinamismo es un sustento vital para los seres vivos porque permite la producción de alimentos, el crecimiento y la diversidad de las plantas y animales, y ayudan a mantener un equilibrio en la calidad ambiental (Vargas 2010; Banegas 2014).

1.2 Origen

Como bien lo plantea (Garrido, 1994) el suelo proviene de una roca madre, que a consecuencia de las diferentes condiciones climáticas, topografía, biota, material parental y tiempo, provoca la desintegración de la misma y se genera una disposición y caracterización especial, forman parte del proceso los microorganismos y la mesofauna de los cuales se encargan de sintetizar, absorber los minerales y los nutrientes para que puedan ser parte fundamental en el desarrollo de la vida (Lozano Rivas, 2018).

1.2.1 Factores que intervienen en la formación del suelo

Existen diferentes factores que intervienen en la formación del suelo y según (GLOBE, 2005) son:

1.2.1.1 *Material original*

Se considera como el material a partir del cual se forma el suelo, este puede ser la roca madre, materia orgánica, o suelo suelto depositado por el viento, agua, glaciares, volcanes, o desplazado por la gravedad a través de una pendiente.

1.2.1.2 *Clima*

Condiciones como el calor, lluvia, hielo, nieve, viento, sol y otros factores naturales son los encargados de romper, mover o esparcir el material original llegando a formar el suelo con sus respectivas propiedades y características.

1.2.1.3 *Organismos*

Los organismos conforman otro importante factor que influyen en el desarrollo y formación del suelo. Los animales y microorganismos que viven en el suelo controlan el ritmo de la descomposición de la materia orgánica y los desechos contribuyendo así al intercambio de gases tales como el dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno, entre el suelo y la atmósfera.

1.2.1.4 *Topografía*

La ubicación geográfica del suelo en un paisaje determinado puede afectar en su formación y también en sus propiedades (GLOBE, 2005).

1.2.1.5 Tiempo

Con el transcurso del tiempo los cuatro factores descritos anteriormente necesitaran de tiempo para poder desarrollarse adecuadamente y cumplir con la actividad que les conviene e, interactúan entre si afectando a las propiedades del suelo, tal como se puede apreciar en la tabla1-1 (GLOBE, 2005).

Tabla 1-1. Propiedades del suelo que cambian con el transcurso del tiempo.

Propiedades del Suelo que cambian su calidad con el transcurso del tiempo		
Propiedades que cambian en minutos u horas	Propiedades que cambian en meses o años	Propiedades que cambian en cientos y miles de años
• Temperatura • Humedad • Composición del aire	• pH • Color • Estructura • Densidad absoluta • Materia orgánica • Fertilidad • Microorganismos, animales, plantas	• Minerales • Distribución del tamaño de partículas • Horizontes • Densidad de partículas

Fuente: (GLOBE, 2005).

Realizado por: Autores

1.3 Composición y Morfología

El suelo es una mezcla de materiales sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos (agua) y gaseosos (aire). La proporción de los componentes de este determina una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas que permiten tener analizar y poder reconocer su origen (Campos, 2013), tal como se aprecia en el gráfico 1-1.

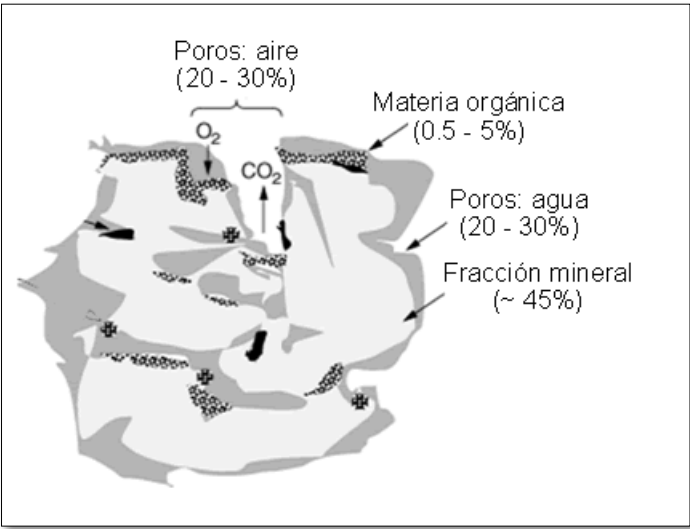


Gráfico 1-1: Composición del Suelo

Fuente: (INECC, 2005)

El suelo está formado por fracciones inorgánicas (arena, limo, arcilla) y también fracciones orgánicas que derivaban de la descomposición de materiales provenientes de los seres vivos. Debido a procesos químicos, hay un predominio de cargas negativas tanto en los componentes inorgánicos (principalmente arcillas) como en los orgánicos del suelo. En efecto, estos componentes pierden cargas positivas y por ese motivo quedan cargados negativamente.

A su vez, el potasio (K^+), el calcio (Ca^{2+}), el magnesio (Mg^{2+}) y el hierro (Fe^{2+} o Fe^{3+}) se encuentran como iones con carga positiva (cationes) en el suelo. Algunos de estos iones tienen una sola carga positiva y otros dos o tres (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} o Fe^{3+}) (Casal, J, 2007).

1.3.1 Componentes Orgánicos

Compuestos orgánicos son sustancias que contienen carbono, formando enlaces carbono-carbono (C-C) y carbono-hidrógeno (C-H). En muchos casos dichas sustancias están también ligadas al oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P).

Las plantas y los animales en descomposición proporcionan la mayor parte de los materiales orgánicos que se encuentran en el suelo. A través de la descomposición, la materia orgánica se convierte en nutrientes que las plantas pueden usar para garantizar su supervivencia como seres autótrofos.

La descomposición de estos restos forma el “humus” que es el responsable del color oscuro del suelo. La mineralización también se produce mediante la descomposición y a través de este proceso, los materiales orgánicos se tornan en inorgánicos. (GrupoSacsá, 2015) es una de las últimas fases y consiste en la destrucción total de los restos orgánicos que se transforman en compuestos inorgánicos sencillos debido a la actividad de los microorganismos (hongos y bacterias) (Savira & Suharsono, 2013).

La mayoría de los compuestos orgánicos se producen mediante síntesis química, aunque todavía existen algunos que se extraen de fuentes naturales, es así que la materia orgánica se encuentra presente en raíces, animales, organismos muertos, restos de alimentos, etc. Entre otra de las principales características de estos compuestos es que son combustibles. La materia orgánica constituye un porcentaje relativamente pequeño, pero tiene mucho impacto sobre las características del suelo. Un suelo con buena provisión de materia orgánica es más fértil y favorece una estructura adecuada que le permite contener

aire y favorecer el movimiento del agua. Los componentes no están sueltos, sino que se agrupan formando unidades denominadas agregados.

1.3.2 Componentes Inorgánicos

A diferencia de la materia orgánica, los componentes inorgánicos son aquellos que no están conformados de carbono y no son fabricados por los seres vivos, sino que son el resultado de las reacciones químicas preexistentes. Entre estos compuestos podemos encontrar moléculas pequeñas y simples, como las sales y minerales que no sean derivados del carbono, como cloruros, fluoruros, entre otros (Química, 2015).

La materia inorgánica pueden ser entonces partículas de roca que se han formado por desgaste bajo la acción de los agentes atmosféricos y constituye la porción principal de la parte sólida de la gran mayoría de los suelos. Su aporte varía desde un 99.5% en la superficie de los suelos en regiones muy secas a menos de un 10% en los suelos llamados orgánicos derivados de pantanos. Representa la parte más estable del suelo, aunque por efecto de la desintegración de las rocas por procesos físicos, químicos y/o biológicos, experimenta cambios lentos, se acostumbra a incluir a los minerales del material inorgánico en dos grupos principales:

1.3.2.1 Primarios

Su composición depende de la roca madre y básicamente contiene: silicatos de diversos tipos, por ejemplo, cuarzo y feldespatos, óxidos e hidróxidos de fierro y aluminio.

1.3.2.2 Secundarios

Se forman a partir de la desintegración de los minerales primarios en forma de iones disueltos. Estos nutrientes minerales incluyen elementos metálicos tales como potasio, calcio, hierro, y cobre, así como elementos no metálicos como nitrógeno, azufre, fósforo y boro. Consumiendo vegetales, los humanos y otros animales usualmente obtienen los minerales que necesitan indirectamente del suelo (incluyendo varios elementos que las plantas toman pero que no parece que utilizan para ellas mismas).

Los componentes minerales o inorgánicos se distinguen por el diámetro de las partículas que forman. Las partículas más grandes corresponden a la arena (0,05 y 2 mm de diámetro), las inter- medias al limo (0.05 y 0.002 mm de diámetro) y las más finas a la arcilla (menos de 0.002 mm) (Casal, J, 2007).

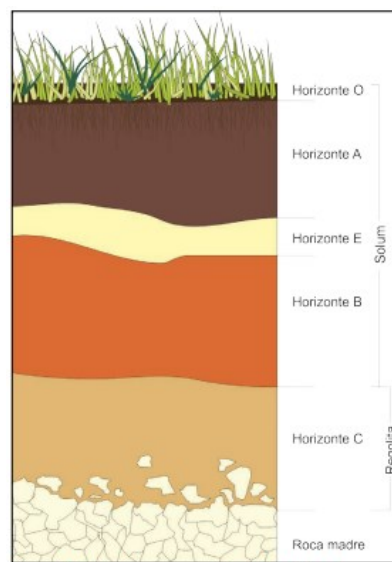
Tabla 1-1. Clasificación de las partículas del suelo.

Partículas del Suelo	
Clase	Tamaño
Arena	Entre 0,05 y 2 mm
Limo	Entre 0,05 y 0,002 mm
Arcilla	Menores a 0.002 mm (2 micras)

Fuente: (MGAP & RENARE, 2016)**Realizado por:** Autores

1.3.3 Perfiles del suelo

Una vez formado y evolucionado el suelo tras la influencia de los factores y compuestos antes mencionados, este se lo puede diferenciar por sus capas o estratos sucesivos de textura, estructura, color y de otras propiedades diferentes, llamadas horizontes. (Fadda, 2017) define a los horizontes como una capa de suelo aproximadamente paralelo a la superficie de la tierra, que se diferencia de las capas adyacentes genéticamente relacionadas por sus características y propiedades físicas, químicas o biológicas.

**Gráfico 2-1:** Horizontes del suelo.**Fuente:** (Fadda, 2017)

1.3.3.1 Horizonte O

Capas dominadas por la materia orgánica, puede estar sobre la superficie de un suelo mineral o a cualquier profundidad debajo de la superficie si está enterrado. La fracción mineral constituye solo un pequeño porcentaje de su volumen y generalmente es menor que la mitad de su peso (Fadda, 2017).

1.3.3.2 Horizonte O

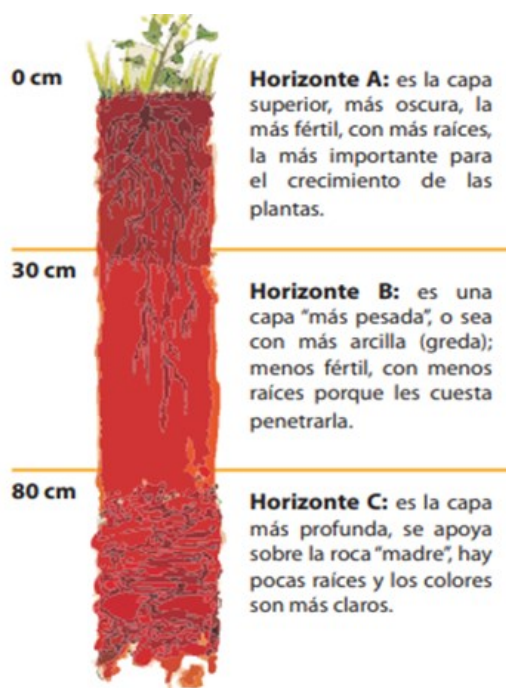


Gráfico 3-1: Horizontes del suelo

Fuente: (MGAP & RENARE, 2016)

Como se aprecia en el gráfico 3-1 este es considerado el horizonte mineral que se han formado en la superficie o abajo de un horizonte O.

En ellos no se presencia la estructura de la roca madre, incluida la estratificación final de los materiales no consolidados, se puede identificar una acumulación de materia orgánica humificada, íntimamente mezclada con la fracción mineral y no dominado por las características de los horizontes E y B.

1.3.3.3 Horizonte E

Este es diferenciado de un horizonte B subyacente por presentar un color más claro o grisáceo, por una textura más gruesa, o una combinación de estas propiedades, su principal rasgo es la pérdida de arcillas silicatadas, hierro o aluminio, o combinaciones, dejando una concentración de partículas de arena y limo. Estos horizontes presentan la desaparición total o de la mayor parte de la estructura del material original (Fadda, 2017).

1.3.3.4 Horizonte B

Corresponde a la capa de acumulación enriquecida de arcillas y sales provenientes de infiltración de agua en el perfil, característica muy relevante para definir el potencial productivo de un suelo (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2015)

1.3.3.5 Horizonte C

Compuesto de material mineral formado por la descomposición de las rocas; incorpora paulatinamente materia orgánica que con el transcurso de varios años permitirá la formación del suelo (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, 2015).

1.4 Composición y Morfología

Por otra parte, (Bravo et al., 2017) manifiesta que la morfología del suelo es un conjunto de propiedades que pueden ser observadas a simple vista, permitiendo tener más claras las condiciones en las que se encuentra y a su vez poder interpretar y predecir el comportamiento de las plantas y las respuestas del suelo frente a los manejos y cambios del mismo.

1.4.1 Propiedades Físicas

1.4.1.1 Textura

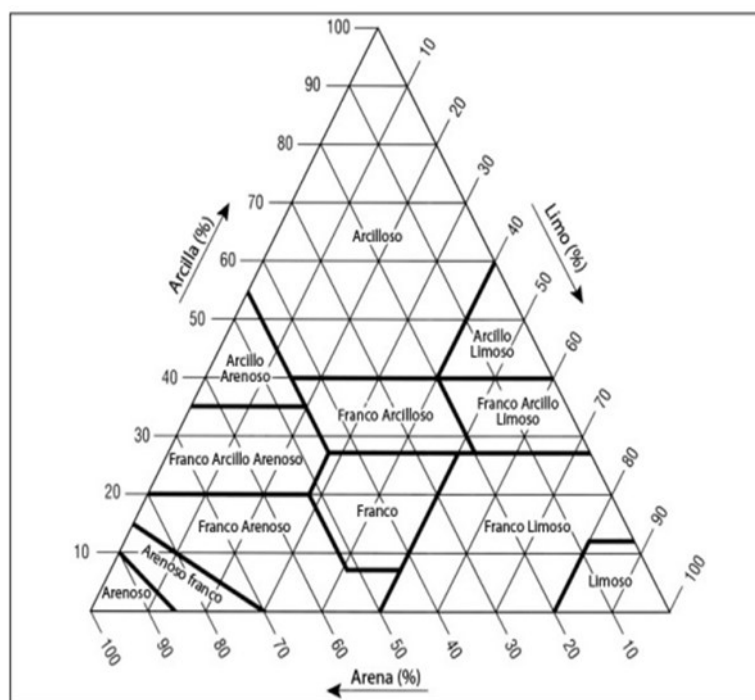


Gráfico 4-1: Porcentajes de arcilla, limo y arena según las texturas básicas del suelo.

Fuente: (Gimenez, 2013)

Campos (2013) nos define a la textura como la composición mineral que determina la proporción de muestra de suelo, definida por las cantidades relativas de sus separados individuales en base a masa (arena, limo, arcilla). Es por eso que al hablar de la textura de un suelo nos referimos al tamaño de las partículas que lo conforman. (Allende, 2020).

Estas texturas se pueden clasificar de acuerdo con el diámetro de partículas, donde las de *menor tamaño* presentan un diámetro menor a 0,002 mm y se las conoce como *arcilla*, las de *limo* se conocen a las que están entre 0,002 y 0,05 mm diámetro y las de *arena* entre 0,05 y 2,0 mm de diámetro (INTAGRI, 2017).

1.4.1.2 Estructura

La estructura es la forma en la que las partículas del suelo se unen para formar agregados (UNLP 2010), es decir cómo se organizan las arcillas, el limo y las arenas para formar el suelo. Para determinar la estructura es necesario estudiar tres parámetros que son: la forma, el grado de desarrollo y el tamaño del agregado (Pereira et al. 2011).

1.4.1.3 Color

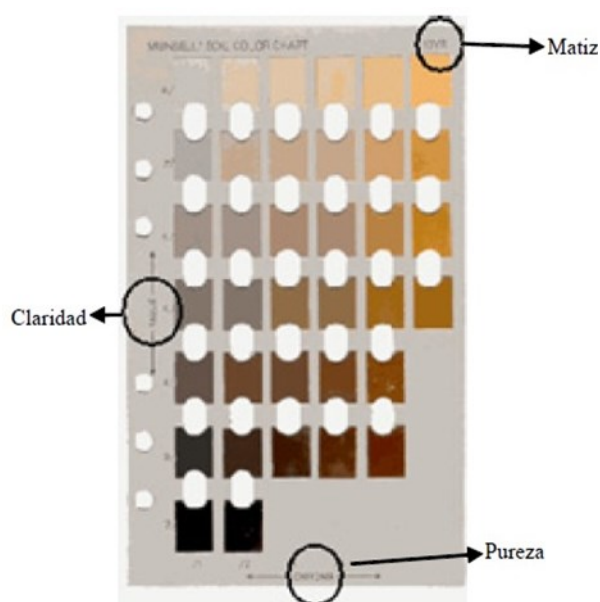


Gráfico 5-1: Tabla de color Munsell

Fuente: (Domínguez Soto et al., 2012)

Rucks L. (2009), manifiesta que el color se puede observar fácilmente permitiendo analizar el tipo de suelo. Las principales sustancias que confieren al suelo su color son el humus, compuestos minerales como los óxidos, sulfuros, sulfatos, carbonatos.

Los colores claros, como el blanquecino, son debidos a la abundancia de minerales blancos o incoloros.

La cantidad de calor absorbido o reflejado por el suelo depende, en gran parte, de su color. Es así que los cuerpos blancos son los que reflejan más las radiaciones que reciben, mientras que, los cuerpos negros las absorben al máximo. Lo mismo pasa con los suelos. Se admite que los suelos oscuros pueden absorber hasta el 80% de la radiación solar, mientras que esta absorción desciende hasta 30% en los suelos claros (Allende, 2020).

1.4.1.4 Densidad

La densidad se puede definir como la masa por unidad de volumen (m/V). Existen dos tipos de densidades de acuerdo con los componentes sólidos y el conjunto de componentes del suelo, incluyendo los espacios intersticiales entre los poros de los agregados. Los tipos de densidad por lo tanto serán:

1.4.1.4.1 Densidad real

Constituye la densidad de la fase sólida del suelo. Es un valor muy permanente pues la mayor parte de los minerales arcillosos presentan una densidad que está alrededor de 2.65 gramos por centímetro cúbico. Los carbonatos presentan una densidad algo menor, así como la materia orgánica, que puede llegar a valores de 0.1; debido a lo cual en horizontes muy orgánicos o carbonatados se debe reconsiderar el valor de 2.65. En el caso de los orgánicos puede calcularse aplicando los valores citados a los contenidos relativos de fracción mineral y orgánica.

1.4.1.4.2 Densidad aparente

Refleja la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no perturbado, para que incluya tanto a la fase sólida como a la gaseosa englobada en ella. Para establecerla debemos tomar un volumen suficiente que represente la heterogeneidad del suelo y su efecto atenuado.

La densidad aparente es una característica que nos da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, la porosidad, la disponibilidad de agua y oxígeno (Ramírez, 1997).

1.4.1.5 Porosidad

La porosidad se define por el volumen que ocupan los poros tanto de gases como de líquidos con relación al volumen total ocupado por el suelo (Pereira et al., 2011).

El tamaño de los poros y por lo tanto la porosidad del suelo, depende del tamaño de las partículas del suelo y del tamaño de los agregados de partículas.

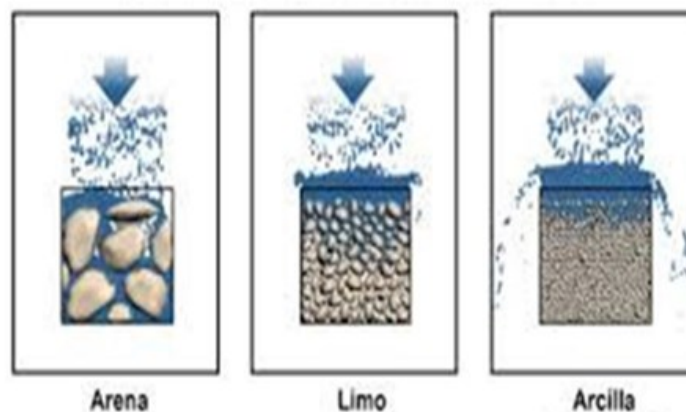


Gráfico 6-1: Tamaños de poros en distintos tipos de suelos.

Fuente: (Pereira et al., 2011).

1.4.2 Propiedades Químicas

1.4.2.1 Salinidad



Gráfico 7-1: Salinidad en los suelos.

Fuente: (Allende, 2020).

Starmedia. (2009), indica que la salinidad es la consecuencia de la presencia de sales en el suelo. Por sus propias características se encuentran tanto en la fase sólida como en la fase líquida facilitando la movilidad (Allende, 2020).

1.4.2.2 Capacidad de Intercambio

Se trata de la capacidad que tiene el suelo de poder intercambiar arcilla y humus, cediendo nutrientes a las plantas por medio de la captación de partículas minerales (UNLP, 2010).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se define como el número de cargas negativas del suelo y se expresa en meq/ 100g de suelo. A valores altos de la CIC existe una gran disponibilidad de los diferentes elementos en el suelo. Menores a 10 meq/ 100g.s. son bajos, entre 10 y 20 medios, de 20 a 30 altos y mayores a 30 meq/100g.s. muy altos (Ramírez, 1997).

1.4.2.3 Porcentaje de saturación de base

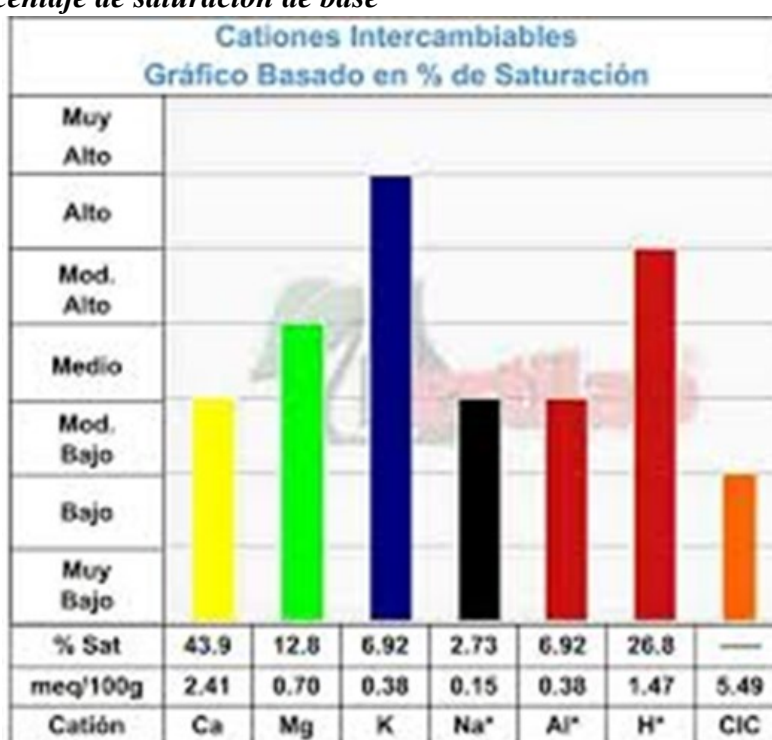


Gráfico 8-1: Porcentaje de saturación de base

Fuente: (Grupo SACSA, 2016).

La base de saturación es la cantidad de iones cargados positivamente, con exclusión de iones de hidrógeno y aluminio, que son absorbidos en la superficie de las partículas del suelo y es expresada como un porcentaje (Grupo SACSA, 2016).

Este porcentaje proporciona información útil acerca de la acidez, la disponibilidad de nutrientes y la fertilidad de los suelos en general. También permite determinar la capacidad del suelo para actuar como un amortiguador frente a la acumulación de ácidos y el potencial de lixiviación de minerales a partir de la tierra.

1.4.2.4 Fertilidad

Se puede definir a la fertilidad del suelo como su capacidad para sustentar el crecimiento de las plantas y optimizar el rendimiento de los cultivos (OIEA, 2018), es decir la cantidad de nutrientes que están disponibles para que las plantas puedan cumplir su ciclo vital adecuadamente (UNLP, 2010).

Para (Sela, 2022) un suelo fértil se puede identificar fácilmente cuando cumple con las siguientes propiedades.

- Es rico en materia orgánica
- Tiene un CIC alta
- El nivel de pH es adecuado pH (6.0-7.0)
- Posee un buen drenado
- Tiene un bajo nivel de salinidad
- Los nutrientes disponibles están en niveles adecuados y en un equilibrio adecuado, especialmente en N,P,K
- El suelo tiene una buena estructura y bajo riesgo de erosión.

1.4.2.5 pH

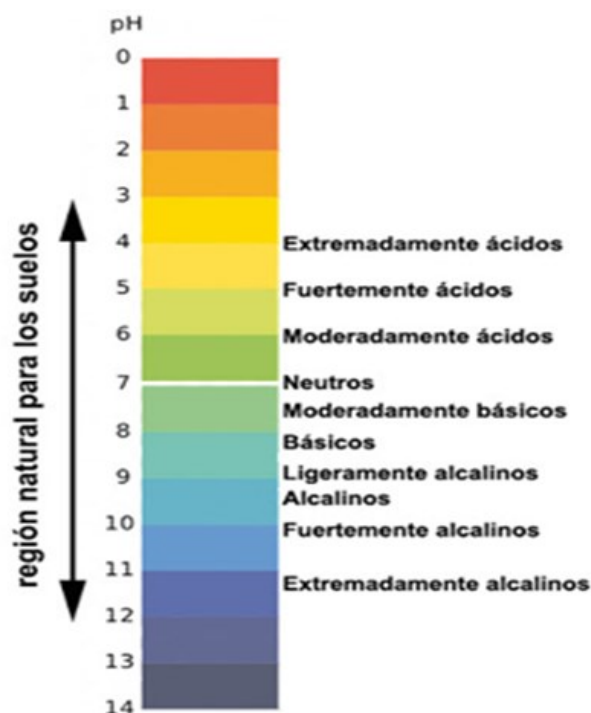


Gráfico 9-1: Categoría de las regiones naturales para los suelos en función al pH.

Fuente: (UNLP, 2010).

Al hablar de pH nos referimos a la acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo (UNLP, 2010). Los suelos pueden presentar un valor ácido o alcalino, algunas veces neutro. La medida de la concentración de iones hidrogeniones se expresa mediante su valor de pH, el cual oscila entre 0 a 14, siendo el $\text{pH} = 7$ el que indica neutralidad. Los valores inferiores a 7 indican acidez y los superiores a 7 alcalinidad. Mientras más distante esté la medida del punto neutro, mayor será la acidez o la alcalinidad (FAO).

1.4.3 Propiedades Biológicas

1.4.3.1 Biodiversidad



Gráfico 10-1: Macrofauna edáfica

Fuente: Los autores

Los organismos del suelo aportan una serie de beneficios fundamentales para la sostenibilidad de todos los ecosistemas. Estos actúan como agentes primarios en el ciclo de los nutrientes, la regulación de la dinámica de la materia orgánica del suelo, el secuestro del carbono en el suelo y las emisiones de gases con efecto invernadero, modificando la estructura física del suelo y el almacenamiento de agua, aumentando la cantidad y disponibilidad de nutrientes para la vegetación (FAO, 2016).



Gráfico 11-1: Distintos tipos de Macrofauna edáfica

Fuente: Los autores

1.4.3.2 *Materia Orgánica*

La materia orgánica (residuos de plantas y materiales animales) está hecha de compuestos tales como los carbohidratos, ligninas y fracciones de proteínas. Los microorganismos descomponen la materia orgánica en dióxido de carbono y los residuos más resistentes en humus. Durante el proceso de descomposición los microbios pueden atrapar nitrógeno del suelo. La materia orgánica y el humus almacenan muchos nutrientes del suelo. También mejoran su estructura, sueltan suelos de arcilla, ayudan a prevenir la erosión y mejoran la capacidad de retención de nutrientes y agua de suelos arenosos o toscos (Pascual & Venegas, 2014).

1.4.3.3 *Respiración*

La respiración de un suelo nos da la medida de las emisiones de Carbono ($C - CO_2$), procedentes principalmente de la descomposición de la materia orgánica a través de la vía aerobia (respiración microbiana), la procedente de raíces del césped y fauna del suelo, e incluso de la disolución de los carbonatos. Es una medida de la salud del suelo pues nos da el nivel de actividad microbiana, contenido de materia orgánica y su mineralización. La medida de liberación de $C - CO_2$ se da en kg/ha/d. En este proceso, fósforo orgánico, Nitrógeno y Azufre pasan a formas inorgánicas. Este proceso también se conoce como mineralización carbónica (Bragado, 2017).

1.4.3.4 *Carbono de biomásas microbianas*

Para (Perez et al., 2020) el Carbono de biomásas microbianas (CBM) se define como el componente funcional de los microbiomas del suelo, responsables

principalmente de la descomposición de la materia orgánica y del reciclaje de nutrientes. Es decir, que la biomasa microbiana del suelo es una medida del carbono contenido en el componente vivo de la materia orgánica (bacterias y hongos). Representa la fracción más lábil del mismo y, por lo tanto, responde rápidamente a los efectos de perturbación o recuperación del suelo (Ren et al., 2019).

1.5 Clasificación

El suelo al ser un sistema natural influenciado por el clima y el medio biológico; se diferencia en horizontes y suministra, en parte, los nutrimentos y el sostén que necesitan las plantas, al contener cantidades apropiadas de aire y agua (Castillo, 2009). Según (Negrete, 2021) la determinación y cuantificación de las diferentes propiedades de un suelo, tienen como objetivo último el establecimiento de una división sistemática de los diferentes tipos de suelos existentes atendiendo a la similitud de sus caracteres físicos y sus propiedades geomecánicas.

1.5.1 Según su funcionalidad

De acuerdo con la funcionalidad se puede clasificar al suelo en:

1.5.1.1 Suelo arcilloso

Generalmente formados por arcillas, de granos muy finos de color amarillento y rojizo, retienen agua formando charcos (Rojas, 2015).



Gráfico 12-1: Suelo arcilloso

Fuente: (Morales y César 2011) .

1.5.1.2 Suelos arenosos

Se caracterizan por presentar un contenido de más del 70% de arena en los primeros cien centímetros de profundidad (Gomez, 2019).



Gráfico 13-1: Suelo arenoso

Fuente: (FAO, 2020).

1.5.1.3 Suelo calizo

Los suelos calcáreos o calcisoles, son donde abundan los elementos calizos, cálcicos, abundantes sales calcáreas y más del 15% de carbonato de calcio en costras, nódulos, polvo y otras formas (Pineda, T.S.U En Evaluación Ambiental, 2020).

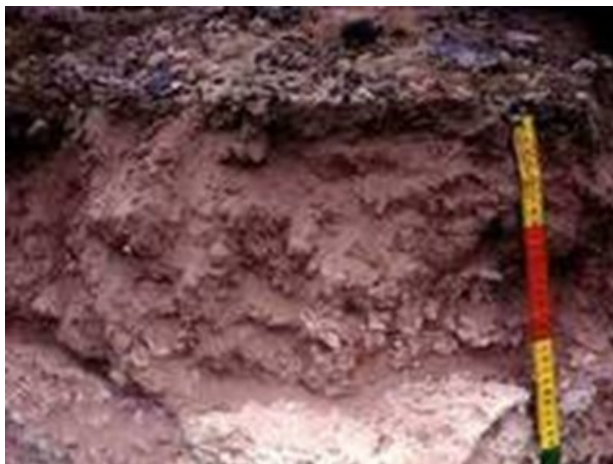


Gráfico 14-1: Suelo calizo.

Fuente: (FAO, 2020).

1.5.1.4 Suelos Humíferos

Son las superficies que albergan abundante material orgánico en descomposición o descompuesto completamente, al humus se lo define como una sustancia compuesta por productos orgánicos de origen coloidal (Morales, 2019).



Gráfico 15-1: Suelo húmidos

Fuente: (KENOGARD, 2013).

1.5.1.5 Suelos Pedregosos

Es un tipo de suelo que contiene formaciones rocosas con incrustaciones de piedra (Cajal, 2017).



Gráfico 16-1: Suelo pedregosos

Fuente: (J. Morales, 2018).

1.5.1.6 Suelos mixtos

Se caracterizan por ser intermediarios por los suelos arenosos y arcillosos, es decir, la mezcla de estos dos tipos de suelos (Oyala & Solano, 2015).



Gráfico 17-1: Suelo mixto.

Fuente: (Alamy Limited, 2020)

1.5.2 Según sus características físicas

1.5.2.1 Litosoles

Son suelos muy delgados, de un espesor inferior a 25 cm y antes de llegar a la capa rocosa pueden ser más profundos, con alto contenido de rocas o grava (Castro, 2020). Estos suelos tienen la capacidad de sostener una vegetación baja (Pineda, Tipos de Suelos , 2020).

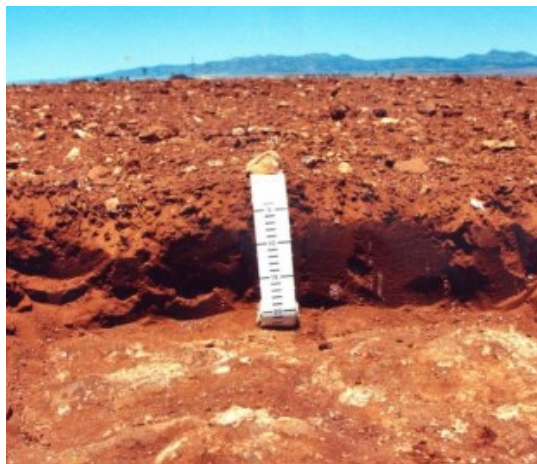


Gráfico 18-1: Suelo litosol

Fuente: (INEGI, 2015)

1.5.2.2 Cambisoles

Los cambisoles, resultan ser los suelos más jóvenes en los cuales aparece un horizonte subsuperficial con tales rasgos, si bien aún muy incipientes. Sin embargo, los materiales de estas capas, incluidas las superficiales orgánicas, son las que disciernen a las rocas de los suelos. Mientras las primeras apenas pueden albergar vida, los suelos propician y estimulan el establecimiento de los organismos biológicos (Juan Ibáñez, Cambisoles (WRB 1998), 2011).



Gráfico 19-1: Suelo cambisol

Fuente: (INEGI, 2015)

1.5.2.3 Luvisoles

Son suelos en los cuales la característica dominante es una marcada diferenciación textural dentro del perfil del suelo, con el horizonte superficial agotado de arcilla y con una acumulación de ésta en un horizonte subsuperficial “Árgico” (Juan Ibáñez, Luvisoles (WRB, 1998), 2012). Los suelos luvisoles nacen tras la acumulación de arcilla superior al 50% de saturación.



Gráfico 20-1: Suelo luvisol.

Fuente: (INEGI, 2015)

1.5.2.4 Acrisoles

Son suelos fuertemente lavados o lixiviados, de color rojo o fuertemente amarillo, sobre rocas o materiales parentales ácidos. Su perfil se encuentra constituido esencialmente por horizonte de acumulación de arcilla, posee baja capacidad de intercambio catiónico y baja saturación de bases (Juan Ibáñez, Acrisoles (WRB), 2012).



Gráfico 21-1: Suelo acrisol

Fuente: (INEGI, 2015)

1.5.2.5 Gleysols

Son suelos permanentemente encharcados, o que sufren tal proceso durante largos periodos de tiempo todos los años. Poseen agua semipermanente y fluctuaciones de nivel freático en 50 cm, su coloración es bastante característica, especialmente condicionada por la reducción de los óxidos férricos a sus formas ferrosas. Los prolongados periodos de ausencia de oxígeno ralentizan la descomposición de la materia orgánica por unas biocenosis edáficas poco abundantes y de escasa biodiversidad (Manríquez, 2011).



Gráfico 22-1: Suelo gleysol

Fuente: (INEGI, 2015)

1.5.2.6 *Fluvisoles*

Son suelos ricos en calcio, jóvenes y formados por depósitos fluviales, las inundaciones catastróficas (y en el caso de los litorales también tsunamis y terremotos) (Ibañez & Marquínez, 2011).



Gráfico 23-1: Suelo Fluvisol

Fuente: (INEGI, 2015)

1.5.2.7 *Rendzina*

Presenta un horizonte de aproximadamente 50 cm de profundidad. Es un suelo rico en materia orgánica sobre roca caliza. Tipo de suelo oscuro, rico en humus, generalmente poco profundo, de las regiones húmedas de climas templados. Suelo intrazonal de escasa evolución y desarrollado sobre sustrato rocoso calizo. Sólo se diferencian dos horizontes, el A seguido del C. Es pues el equivalente del ranker cuando el sustrato es calizo. Suelos propios de las zonas secas.



Gráfico 24-1: Suelo rendzina

Fuente: (INEGI, 2015)

1.5.2.8 Vertisoles

Estos suelos se encuentran en superficies de poca pendiente o escurrimientos superficiales, arcillosos, color negro y con procesos de contracción-expansión. Presentan procesos de contracción y expansión, se localizan en superficies de poca pendiente y cercanos escurrimientos superficiales (Jalal, 2014).



Gráfico 25-1: Suelo vertisol

Fuente: (Anadón, 2021)

1.6 Clasificación

El suelo es de suma importancia en el desarrollo de la vida ya que este brinda el soporte a todos los seres vivos y a su vez ocupa actualmente un lugar muy importante en la sostenibilidad del medio ambiente, gracias a su composición el suelo llega a realizar diferentes procesos los cuales sustentan la importancia de este. Uno de ellos es que el suelo viene a ser un reservorio del agua por el papel que juega al momento de capturar el agua el suelo puede almacenarla y así servir como fuente de abastecimiento la vegetación, reduciendo la superficie de evaporación y mejorando la eficacia y productividad en el uso del agua evitando que esta sea mal aprovechada. (Espejo Serrano, 2013), (Agricultura, 2015).

A su vez el suelo es de gran importancia porque el 95% de los alimentos que consumimos provienen de este convirtiéndolo en un sistema alimentario, cabe destacar que, así como es la base para la agricultura y para que crezca la vegetación, estos tienen que estar en óptimas condiciones, o saludables es por eso que el ser humano tiene que

deber el manejo adecuado con las debidas medidas y trabajándolo responsablemente para que este a su vez produzca y nos brinde cultivos sanos. (ONU, 2018).

Otra característica del suelo por lo que lo consideramos importante en el desarrollo de la vida, es porque este juega un papel muy importante en la mitigación del cambio climático. Al hablar de mitigar podemos decir que, así como retiene agua también ayuda al medio ambiente con la retención de carbono, al absorber el carbono este permite la reducción de los efectos que tiene las emisiones de gases invernadero. (FAO, 2015).

1.7 Funciones básicas

Como ya se ha mencionado antes el suelo cumple diferentes funciones para el desarrollo de la vida. Pero para tener un poco más claro cuáles son las funciones del suelo entre las principales tenemos.

1.7.1 Funciones Ecológicas

El suelo cumple con varias funciones ecológicas como:

- **Producción de biomasa:** Por cuanto brinda sustratos y nutrientes para así dar vida y variedad a diferentes seres vivos como plantas, animales e incluso diversidad de microorganismos permitiéndose que estos aporten a la producción de los ecosistemas terrestres. (Calonge Moreno, 2012).
- **Transformación y depuración:** Reactor que filtra, regula y transforma la materia para proteger de la contaminación el ambiente, las aguas subterráneas y la cadena alimentaria. (Ibáñez, 2006).
- **Hábitat biológico y reserva genética:** En él puede habitar una gran diversidad de seres vivos (Ibáñez, 2006).

1.7.2 Funciones vinculadas al ser humano

- **Soporte para infraestructuras:** El suelo ayuda a que el hombre pueda realizar diferentes actividades de construcción permitiéndole al ser humano disponer de residencias, vías, industrias, etc.
- **Fuente de materia prima:** suministra materias primas como turba, grava, arena, arcilla o rocas, utilizadas en varios procesos productivos. (Burbano Orjuela, 2016).

- **Herencia Cultural:** Gran parte de los restos que dan cuenta de la herencia humana y de la historia ambiental reciente de la Tierra, se hallan en el suelo. (Burbano Orjuela, 2016).

1.8 Principales fuentes de contaminación

La contaminación del suelo es una alteración del mismo por la presencia de sustancias químicas o xenobióticos en una concentración más alta de lo normal, sus consecuencias corresponden a efectos negativos que repercuten en la vida animal y vegetal del entorno (OXFAM, 2015) (La Trinchera, 2018).

Actúa como un amortiguador natural controlando el transporte de elementos y sustancias químicas a la atmósfera, la hidrosfera y la biota (Aldas, 2016) llega a considerarse como un recurso natural de características muy especiales ya que, si bien puede renovarse a lo largo de un ciclo más o menos largo, las pequeñas tasas de formación del suelo, comparadas con las enormes pérdidas que pueden producirse en un corto periodo de tiempo, por procesos de erosión acelerada, hacen que pueda ser contemplado como un recurso no renovable en la escala temporal del ser humano (Andrade, 2012).

Actúa como un amortiguador natural controlando el transporte de elementos y sustancias químicas a la atmósfera, la hidrosfera y la biota (Aldas, 2016) llega a considerarse como un recurso natural de características muy especiales ya que, si bien puede renovarse a lo largo de un ciclo más o menos largo, las pequeñas tasas de formación del suelo, comparadas con las enormes pérdidas que pueden producirse en un corto periodo de tiempo, por procesos de erosión acelerada, hacen que pueda ser contemplado como un recurso no renovable en la escala temporal del ser humano (Andrade, 2012).

La cantidad y diversidad de contaminantes que se encuentra en el suelo han estado en constante incremento en los últimos años a causa de diversas fuentes de contaminación, como pueden ser antropogénicas y geogénicas naturales.

1.8.1 Fuentes geogénicas naturales

Las fuentes geogénicas naturales son aquellas que emiten contaminantes atmosféricos que no provienen directamente de actividades humanas, estas son de origen geológico: volcanes, géiser, manantiales de aguas sulfurosas y filtraciones de aceite que suelen registrarse en ambientes marinos (SEMARNAT, 2005).

Los eventos naturales como las erupciones volcánicas o incendios forestales también pueden causar contaminación natural cuando se liberan al ambiente muchos

elementos tóxicos, principalmente mercurio (Hg), o con la meteorización del material parental donde este se hidroliza por una solución ácida para producir minerales y liberar cationes llegando a desear altos niveles de cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni) y zinc (Zn) al suelo provocando su contaminación.

1.8.2 Fuentes Antropogénicas

Los agentes contaminantes del suelo son muy diversos y proceden generalmente de las actividades desarrolladas por el hombre (Andrade, 2012), las principales fuentes antropogénicas de contaminación del suelo son los químicos usados o producidos como derivados de actividades industriales, desechos domésticos y municipales, incluyendo las aguas residuales, los agroquímicos y los productos derivados del petróleo (FAO et al., 2019).

1.8.2.1 Actividades industriales

Las actividades industriales liberan contaminantes a la atmósfera, el agua y el suelo. Los contaminantes gaseosos y los radionúclidos son liberados a la atmósfera y pueden ingresar al suelo directamente a través de la lluvia ácida o la deposición atmosférica o a su vez las antiguas áreas industriales pueden estar contaminadas por el almacenamiento incorrecto de químicos o la descarga directa de desechos al suelo; el agua y otros fluidos provocando que los suelos que permanecían a su alrededor se vean contaminados significativamente por la presencia de agentes químicos (FAO et al., 2019).

1.8.2.2 Infraestructuras urbanas y de transportes

El desarrollo generalizado de infraestructura como viviendas, carreteras y vías férreas ha contribuido considerablemente a la degradación ambiental. Sus efectos negativos más evidentes sobre el suelo son el sellado del suelo y la ocupación del territorio. Además de estas conocidas amenazas para el suelo, otro de los principales impactos de las actividades de infraestructuras es la entrada en los suelos de diferentes contaminantes. Las actividades vinculadas al transporte dentro y en torno a centros urbanos constituyen una de las principales fuentes de contaminación del suelo, no solo por las emisiones de los motores de combustión interna que alcanzan suelos ubicados a más de 100 metros de distancia por la deposición atmosférica y por derrames de petróleo, sino también por las actividades y los cambios generales resultantes de éstas (FAO et al., 2019).

1.8.2.3 Generación y eliminación de desechos y aguas residuales

A medida que aumenta la población, también se incrementa la generación de desechos, muchos de estos contaminantes, como los metales pesados, los hidrocarburos aromáticos policíclicos, los compuestos derivados de industrias farmacéuticas, productos para el cuidado personal y derivados, se acumulan en el suelo (Swati et al., 2014) procedentes directamente de los lixiviados de los vertederos que pueden estar contaminando el suelo y las aguas subterráneas o a su vez de la lluvia de cenizas de las plantas de incineración (Mirsal, 2008).

1.8.2.4 Actividades militares y guerras

Sin embargo, la guerra moderna hace uso de armas de destrucción no degradables y de químicos que pueden permanecer en los suelos afectados durante siglos una vez terminado el conflicto (FAO y GTIS, 2015). La naturaleza de los suelos puede ser modificada considerablemente por las actividades bélicas tanto en tiempos de guerra como en tiempos de paz debido a actividades militares como pruebas en campos de tiro (FAO et al., 2019).

1.8.2.5 Actividades agrícolas y ganaderas

Las diferentes fuentes agrícolas de contaminantes del suelo incluyen productos agroquímicos, como fertilizantes, estiércol animal, y plaguicidas por lo que estos se consideran contaminantes del suelo ya que pueden perjudicar el metabolismo de las plantas y disminuir la productividad de los cultivos (FAO et al., 2019).

1.8.2.6 Minería

La fundición de metales para separar los minerales ha introducido muchos contaminantes al suelo. Las instalaciones mineras y de fundición liberan enormes cantidades de metales pesados y otros elementos tóxicos al medio ambiente; Los desechos tóxicos de la minería son almacenados en estériles, los cuales están formados principalmente por partículas finas que pueden tener diferentes concentraciones de metales pesados. Estas partículas contaminadas pueden ser dispersadas por la acción de la erosión hídrica y eólica, pudiendo alcanzar suelos. (FAO et al., 2019).

Los metales pesados en pequeñas dosis pueden ser beneficiosos para los organismos vivos y de hecho son utilizados como micronutrientes, pero pasado un umbral se convierten en elementos nocivos para la salud (Andrade, 2012). Un material pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando está en forma

elemental. Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01% (Aldas, 2016).

Los metales pesados son el tipo de contaminantes más persistentes y complejos para remediar en la naturaleza. No solamente degradan la calidad de la atmósfera, de los cuerpos de agua y de los cultivos de alimentos, sino que también amenazan la salud y bienestar de animales y seres humanos (FAO et al., 2019).

1.9 Manejo y cuidado

El ser humano debe comprender que el suelo es un pilar fundamental en el desarrollo de la vida y al ser un recurso natural no renovable es de suma importancia saber manejarlo adecuadamente y establecer los debidos cuidados para la protección del mismo. Actualmente debido a la falta de conocimiento y la irresponsabilidad del ser humano al utilizar agentes contaminantes y desconocer los efectos generados se ha provocado que en diferentes zonas el suelo ya este agotando sus nutrientes y equilibrio químico natural. Es por eso por lo que se debe tratar de adoptar diversos métodos de manejo y cuidado para evitar las afectaciones a futuro. (Rodriguez, McLaughlin, & Pennock, 2009).

CAPÍTULO 2

2 CALIDAD DEL SUELO

2.1 Principios sobre calidad del suelo

La calidad del suelo se puede definir de maneras muy variadas entre ellas “la utilidad del suelo para un fin específico y durante un tiempo continuado y duradero” (A. Gómez & Hoyos, 2020).

El poder conocer su calidad permite determinar para que función es eficiente este. según (Davidson, 2014), plantea que “la calidad del suelo se define por la productividad y el funcionamiento del mismo que incluyen el ciclo de nutrientes, la infiltración de agua, la estructura física, las características químicas y la diversidad biológica”.

Así mismo en otras literaturas revisadas (R. López, 2002) manifiesta que la calidad del suelo es la capacidad de este para funcionar de acuerdo a las demandas de uso, para así poder mantener su capacidad de resistir a la degradación y de minimizar los impactos ambientales; abarcando en si la productividad del suelo, la calidad ambiental, seguridad alimentaria, salud animal y humana, degradación de contaminantes y uso de la tierra.

La calidad está ligada a las necesidades humanas, es así que un suelo de alta calidad poseerá óptimas condiciones a diferencia de un suelo que esta desgastado por diferentes causas antropogénicas o geogénicas naturales. Evaluar la calidad del suelo ha conllevado a analizar en conjunto varios parámetros físico químicos (Tabla1-2) constituyéndose en un aporte para comprender y concientizar sobre el desarrollo de los hábitats biológicos, vegetales y animales (R. López, 2002).

Tabla 1-2: Relación entre la calidad del suelo y sus propiedades

Propiedades-Procesos del Suelo	
Efectos Directos	• Material parental • Contenido de materia orgánica • Estructura y erosionalidad del suelo • Capacidad de intercambio catiónico • Anaerobiosis

	• Textura
Efectos Indirectos	• Métodos de labranza • Insumos químicos • Sistema agrícola • Drenaje

Fuente: (M. López, 2009)

Realizado por: Autores

2.2 Criterios que afectan la calidad del suelo

Para poder identificar cuáles son los criterios que pueden afectar la calidad del suelo se ha tomado en cuenta los propuestos por (R. López, 2002) de acuerdo a las funciones del mismo.

2.2.1 Productividad y sostenibilidad

La calidad del suelo en este criterio se considera básica ya que permite conocer el estado que un suelo posee para generar una productividad sostenida (R. López, 2002).

2.2.2 Calidad ambiental

En referente a la calidad ambiental conocer o evaluar la calidad del suelo nos permitirá identificar los contaminantes o causas que pueden estar ocasionando un daño a este recurso para poder implementar alternativas que puedas subsanar, mitigar o minimizar la contaminación y así lograr un uso eficiente del mismo.

2.2.3 Biodiversidad

El suelo es un importante almacén o depósito de genes, y su calidad repercute en el mantenimiento de la diversidad biológica permitiendo mantener la actividad y diversidad de especies, flora y fauna que habitan en estos suelos.

2.2.4 Bienestar humano

El bienestar humano es directamente influenciado a través del impacto de la calidad del suelo en la productividad y sostenibilidad, e indirectamente influenciado por su efecto en el ambiente en términos de calidad del agua y del efecto invernadero (R. López, 2002). Todos estos criterios antes mencionados generan una resiliencia y degradación de los suelos. Al hablar de resiliencia hacemos referencia a la capacidad de adaptarse al medio y tratar de permanecer vivo sin cambiar sus propiedades, en cambio

la degradación se empieza a dar cuando este ha agotado todos sus recursos y se encuentra pobre de los mismos.

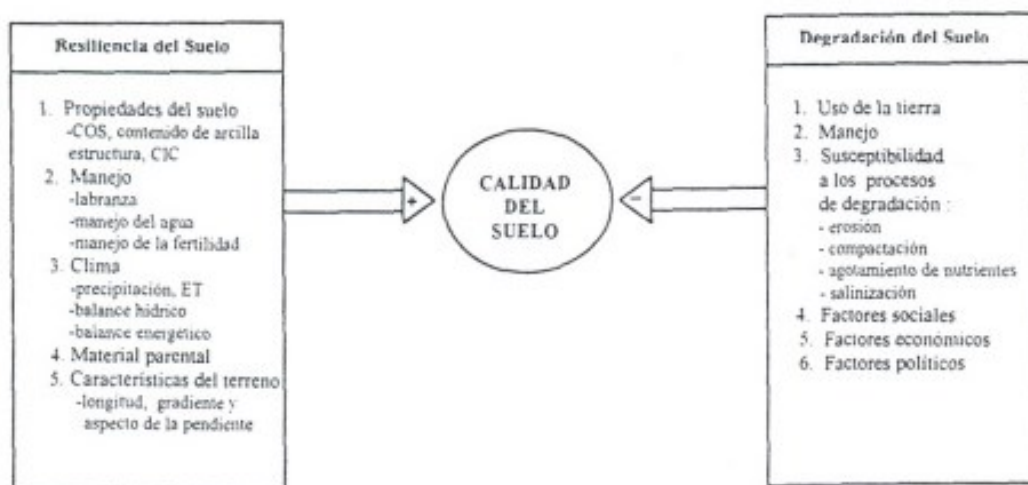


Gráfico 1-2: Resiliencia y degradación de la calidad del suelo

Fuente: (R. López, 2002)

2.3 Muestreo del Suelo

Como bien lo manifiesta (Trujillo - González et al., 2018), la calidad del suelo es de suma importancia al hacer mención al estado en el se encuentra, esta calidad no puede ser medida de una manera rápida y directa ya que para poder obtener un dato real y correcto se deben realizar análisis en el laboratorio y en campo utilizando indicadores establecidos.

Es necesario realizar monitoreos y mediciones para verificar el estado del suelo y con ello de varios parámetros de calidad, de acuerdo a (Davidson, 2014) un monitoreo parte con la identificación de los indicadores a evaluar, seguidamente se debe establecer un valor de referencia, para finalmente realizar el monitoreo.

Para la realización de cualquier tipo de muestreo, es necesario definir claramente los objetivos que permitan un óptimo proceso de levantamiento de la información necesaria para la descripción del sitio o suelo a analizar (MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2014).

2.3.1 Tipos de muestreo

2.3.1.1 Muestreo de Identificación (MI)

Tiene como finalidad investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas estableciendo sus resultados para la

verificación del cumplimiento de los estándares de calidad ambiental propuestos por el estado, considerando el alcance de los resultados y el levantamiento técnico del sitio (Ministerio del Ambiente 2014).

Los resultados son comparados con los estándares de calidad, si superan los valores se establece que el suelo está contaminado y se procede a la fase de caracterización; antes de realizar el muestreo se debe emplear la investigación histórica y la inspección del sitio potencial contaminado (Navas et al. 2003).

Para el Ministerio del Ambiente (2014), se debe considerar los siguientes aspectos al momento de formular un muestreo de este tipo:

- Determinar el área de potencial interés sobre la investigación.
- El número de muestreo se determinará respetando el valor mínimo de puntos, en tal caso se conozca la línea base del sitio sobre su origen, fuente y tipo del posible contaminante.
- Cuando no se tiene previo conocimiento de la distribución del contaminante se podrá optar primero por una distribución sistemática.
- La profundidad del muestreo dependerá del tipo de suelo y contaminante a estudiar.
- Para puntos de muestreo con profundidades igual o menores a 3 m, todas las muestras tomadas deben ser analizadas.
- Cada modificación en el proceso deberá ser justificada, fundamentada y documentada.
- En el control de calidad se debe duplicar el 10% de las muestras analizadas para sitios con superficies menores o iguales a 20 ha, un 5% para mayores a 20 ha deben ser analizadas en otro laboratorio acreditado.

2.3.1.2 Muestreo de Detalle (MD)

Tiene la finalidad de obtener muestras representativas para la determinación del área y volumen (distribución horizontal y vertical) del suelo contaminado establecido en la fase de identificación, a través de la delimitación y cuantificación de los focos;

caracteriza los medios en relación con los factores de comportamiento del contaminante y determina sus probables rutas y vías de exposición llevando a cabo una evaluación de riesgos a la salud y el ambiente (ERSA) (Ministerio del Ambiente, 2014).

La ERSA y la propuesta de remediación incluyen las siguientes acciones:

- Remoción de contaminantes.
- Contención.
- Control de riesgo
- Restricciones de uso
- Atenuación natural monitorizada

2.3.1.3 Muestreo de Nivel de Fondo (MF)

Tiene la finalidad de determinar la concentración de los químicos regulados por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) suelo en áreas contaminadas por metales o metaloides de forma natural o antropogénica (L. Mendoza & Iannacone, 2021).

El (Ministerio del Ambiente, 2014) manifiesta que, el MF se justifica de manera estadística, usando la ayuda de datos y conclusiones de la fase de identificación, para la localización del área de muestreo se considera:

- El área de muestreo deberá presentar orografía y geología con similitud al área de estudio, y su vez el mismo clima y vegetación.
- El área de muestreo deberá estar fuera del sitio o predio en estudio.
- Las muestras deben ser compuestas, mínimo de tres áreas diferentes pero similares.

2.3.1.4 Muestreo de Nivel de Fondo (MF)

Tiene la finalidad de demostrar que las acciones de remediación efectuadas en un suelo contaminado alcanzaron las concentraciones menores o iguales a los Estándares de calidad del suelo o niveles de remediación; los resultados deben estar documentados para la posterior presentación a las autoridades ambientales competentes (Ministerio del Ambiente, 2014).

Antes de efectuar un MC se debe realizar un muestreo preliminar con el fin de tener un buen margen de seguridad, caso contrario es muy probable que ocurran subsiguientes (Carrillo, 2016). A continuación, se muestra el procedimiento basado en el

(Ministerio del Ambiente, 2014), para la determinación de los puntos de muestreo en el área de excavación.

a. Áreas de forma regular menores a 1 000 m²

Se efectúa en espacios contaminados con formas regulares (cuadrado), el total de muestras es de 5 con una distribución una en cada pared (4) y una en el centro (1).

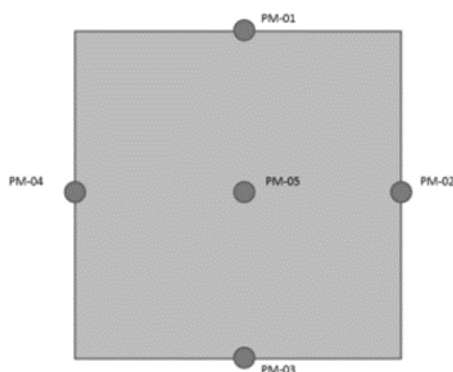


Gráfico 2-2: Posicionamiento de Puntos de Muestreo en áreas regulares (cuadrado)

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2014)

También se efectúa en espacios contaminados con forma rectangular, con un total de 8 muestras distribuidas en la pared corta (2), pared larga (4) y el centro (1).

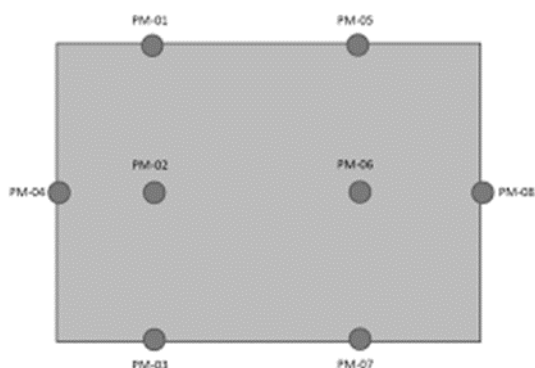


Gráfico 3-2: Posicionamiento de Puntos de Muestreo en áreas regulares (rectángulo).

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2014)

b. Áreas de forma irregular menores a 1 000 m² y hasta 5 000 m²

Se establece la distribución del espacio contaminado, una muestra por cada 15 – 20 metros lineales en las paredes del perímetro y en el fondo (2) para áreas menores a 1 000 m² y (3 o 4) para áreas hasta 5 000 m² según el caso.

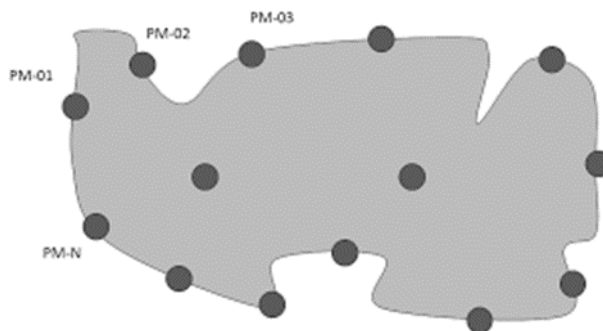


Gráfico 4-2: Posicionamiento de Puntos de Muestreo en áreas irregulares.

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2014)

c. Áreas de forma regular de 1 000m² hasta 9 999 m²

Se forma la distribución mediante una muestra (1) por cada 75 a 100 m lineales en cada pared corta o larga:

Formula 1

$$NPM = \frac{d}{75 - 100}$$

Donde:

NPM = Número de puntos de muestreo

d = Distancias

Para las muestras en el fondo se establecen (2) por cada 1 000 m².

d. Áreas de forma regular de 10 000 m² a 150 000 m²

Se forma la distribución en cada pared corta o larga, una (1) por cada 75 a 100 m lineales efectuando la Formula 1.

Para las muestras en el fondo se calcula mediante la siguiente ecuación:

Formula 2

$$NPM = 18 + 2.34 * A$$

Donde:

NPM = Número de puntos de muestreo

A = Superficie en hectáreas

2.3.2 Tipos de muestra muestreo

Como ya se ha venido hablando el muestreo de suelo es la actividad donde se recolecta las muestras de suelo que serán utilizada para los respectivos estudios del suelo. La muestra se entiende como una parte representativa del terreno la cual conlleva en ella las mismas características o propiedades del material que se está estudiando (R. Mendoza & Espinoza, 2017).

2.3.2.1 Muestra simple

Corresponde a una muestra obtenido de una sola extracción, son usadas en trabajos de investigación, extensión, y de manera general en suelos muy homogéneos (R. Mendoza & Espinoza, 2017).

2.3.2.2 Muestra compuesta

Muestra de suelo obtenida de varias extracciones o muestras simples, reunidas en un recipiente codificado por profundidad, si es el caso, y luego bien mezcladas, de donde se retira alrededor de 1 kilogramo de suelo (R. Mendoza & Espinoza, 2017).



Gráfico 5-2: Procedimientos de la toma de muestra.

Fuente: Los autores

2.3.3 Protocolo para muestreo

Para la toma de muestras de suelo se deberá tener en cuenta que será un protocolo que se lleva en una secuencia de etapas que son las siguientes. Se presentan en el siguiente flujograma.

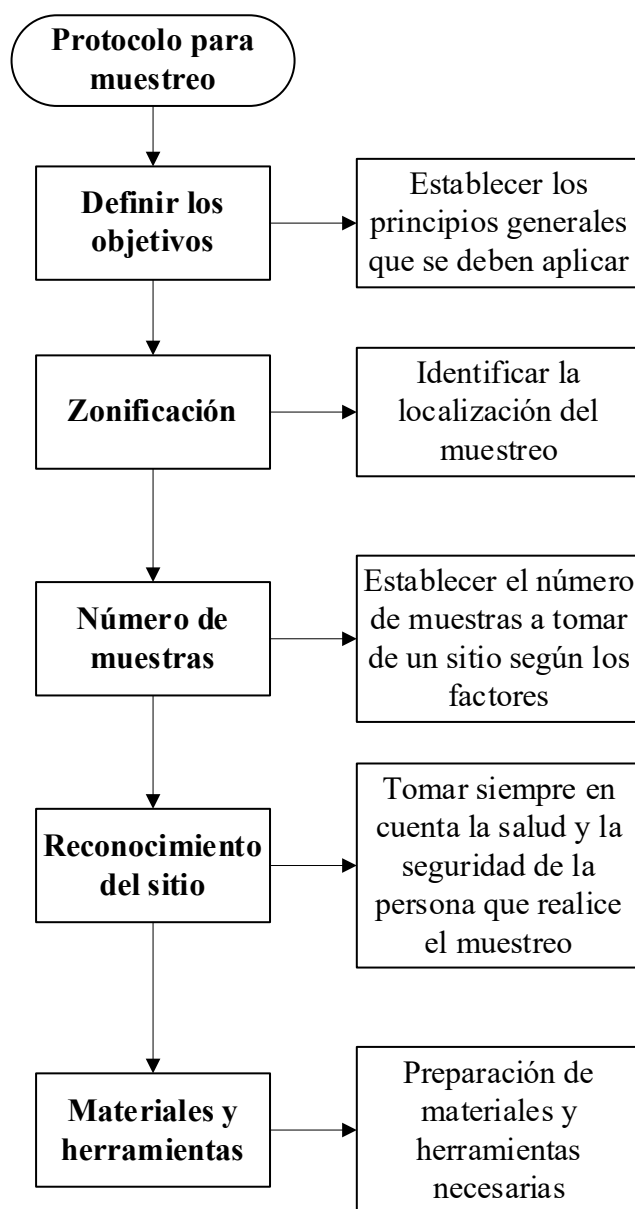


Gráfico 6-2: Esquema del protocolo para muestreo

Fuente: Los autores

2.3.3.1 Definir los objetivos

El primer paso al planear la actividad de muestreo es definir los objetivos. Los objetivos del muestreo ambiental se dividen, de manera amplia, en metas exploratorias (de vigilancia) que permiten brindar información preliminar respecto al sitio o material materia de análisis y de monitoreo (de evaluación) que tiene como fin brindar información acerca de la variación de concentraciones de parámetros específicos durante un lapso determinado o dentro de un área geográfica específica (Ministerio de Energía y Minas, 2000).

2.3.3.2 Zonificación

Se debe realizar una determinación de la zona y superficie a muestrear, esto se lo puede realizar basándose en un croquis, según (SAG, 2010) los pautas a tomar son:

- Tipo de suelo
- Condiciones topográficas
- Apreciación visual del color superficial del suelo
- Textura de suelo
- Riesgo de inundación

2.3.3.3 Número de muestras

Existen numerosos factores que influyen en el número de muestras a tomar de un sitio, como por ejemplo depende del número de áreas claras, la amplitud de dispersión de los puntos de muestreo dentro de un área específica, métodos analíticos a emplearse según los analitos que requieran determinarse.

2.3.3.4 Reconocimiento del Sitio

Según (Ministerio de Energía y Minas 2000). se deberá tomar siempre en cuenta la salud y la seguridad de la persona que realice el muestreo. Un debido planeamiento y una apropiada ejecución de los protocolos de seguridad ayudan a proteger a los empleados de accidentes y de una innecesaria exposición a químicos peligrosos, un reconocimiento del sitio, realizado previa o paralelamente al muestreo, es invaluable para evaluar las condiciones del sitio, estudiar las áreas de contaminación potencial, evaluar los peligros potenciales asociados con el muestreo, y desarrollar un plan de muestreo.

2.3.3.5 Reconocimiento del Sitio

Para (Analab, 2019), las herramientas que se deben utilizar para realizar un muestreo son:

- **Barrero de tubo:** utilizado especialmente para suelos de textura fina.
- **Pala Jardinera:** Esta herramienta se la puede utilizar con todo tipo de suelos ya que es adaptable a un amplio rango de texturas. Es importante tomar en cuenta que si vamos a extraer la muestra con una pala se debe eliminar la capa superficial del suelo para que así no se incluya en el análisis la capa que pertenece a la maleza o pasto ya que esta podría

afectar el análisis, esta muestra debe contener una humedad equilibrada, ya que no debe de estar ni muy seco el suelo o muy húmedo.

- **Balde:** de 20 litros para poder depositar las muestras y submuestras y así poder mezclarlas si son necesarias.
- **Bolsas plásticas:** en estas bolsas se introducirán la muestra compuesta homogenizada, mínimo debe haber 500 gramos de muestra.
- **Cinta métrica/regla graduada**
- **GPS:** Para georreferenciar los puntos del muestreo (Santos et al., 2012).
- **Etiquetas:** para poder identificar fácilmente a las muestras tomadas.
- **Planilla de datos complementarios:** documentos generados por los analistas.

2.3.3.6 Preservación y almacenamiento de muestras

Las muestras deben colocarse en bolsas plásticas, sellarse herméticamente, y refrigerarse tan pronto como sea posible. La temperatura de refrigeración deberá mantenerse a aproximadamente 4°C hasta el análisis, el mismo que deberá realizarse a la brevedad posible.



Gráfico 7-2: Equipos y materiales requeridos para el monitoreo del suelo.

Fuente: Los autores

Se deberá generar un documento escrito que recolecte todos los datos de la muestra con sus debidas observaciones permitiéndonos disponer de un respaldo que verifique en qué estado se encontraba la muestra al momento de su recolección y así poderla entregar al laboratorio con sus debidos datos.



Gráfico 8-2: Equipos y materiales requeridos para el monitoreo del suelo

Fuente: (R. Mendoza & Espinoza, 2017)

Debe evitarse que las muestras recolectadas sean expuestas directamente al sol u otras fuentes de calor durante su transporte, el mismo que debe ser en el menos tiempo posible. Y así evitar que las muestras se dañen antes de llegar al laboratorio para su respectivo análisis.

2.4 Muestreo del Suelo

Para (Prieto-Méndez et al., 2013), un indicador es aquella variable que permite brindar información esencial de una manera simplificada y sistemática, permitiendo que una condición u propiedad que sea de interés de estudio se pueda cuantificar, medir y expresar algún cambio. Por otra parte (Trujillo - González et al., 2018) nos permite acotar que estos indicadores ya sean físicos, químicos o biológicos abarcar procesos sistemáticos, donde a partir de presenciar una alteración o cambio en su función, composición y servicios ecosistémicos estos logren recabar la información necesaria al momento que se quiera conocer la calidad del suelo.

El autor antes mencionado igualmente nos acota que para que los indicadores de calidad puedan tener una efectividad adecuada, estos deben conformar o cumplir con procesos sistemáticos, abarcar propiedades del suelo, ser de fácil acceso y manejo para aquellas personal que vayan a realizar la identificación y finalmente deben tener una reacción inmediata y sensible al clima y prácticas antropogénicas, ya que estas

características permitirán que el indicador reaccione de mejor manera a cualquier cambio y pueda dar valores correctos o significativos al momento de buscar un índice de calidad (Trujillo - González et al., 2018).

2.4.1 Protocolo para muestreo

De acuerdo a (Villarreal-Núñez et al., 2013), las principales funciones que tienen los indicadores son la evaluación de las diferentes condiciones, a esto se suma que a través de ellos podemos comparar sitios o situaciones, proporcionando información preventiva para poder actuar de manera oportuna y anticipar circunstancias y directrices futuras.



Gráfico 9-2: Equipos y materiales requeridos para el monitoreo del suelo.

Fuente: Los autores

Por otra (Y. García, Ramírez, et al., 2012) parte, nos plantea que un indicador de suelo debe contener las siguientes condiciones:

- Ser integradores
- Ser de fácil medición, apoyados en información objetiva y fácil de reconocer.
- Ser adecuados al nivel de análisis y al sistema estudiado
- Ser perfectamente aplicables a un rango de ecosistemas y condiciones.
- Reflejar el atributo de sostenibilidad que se quiere evaluar.
- Ser de fácil entendimiento
- Adaptable a cambios y diferencias entre los diferentes sistemas

- Centrarse en aspectos prácticos y claros

Para poder seleccionar los indicadores que son óptimos para poder evaluar la calidad se tomara en consideración diferentes criterios en base a la función del suelo entre estos podemos mencionar el uso de la tierra, la relación entre un indicador y la función del suelo, facilidad y fiabilidad de la medición, variación en los tiempos de muestreo y en la zona de muestreo (González, 2013).

2.5 Clasificación de los indicadores de calidad

2.5.1 Indicadores físicos

Al hablar de este tipo de indicadores nos referimos a las diferentes características o propiedades físicas que tiene el suelo asociadas con el uso eficiente del agua, nutrientes y pesticidas, como lo es su estructura, densidad, porosidad, infiltración, conductividad eléctrica, entre otras (Y. García, Ramirez, et al., 2012). El suelo puede tener múltiples problemas al mismo tiempo, algunos de estos son causados por la baja calidad física del suelo (como infiltración, insuficiencia de agua o baja permeabilidad, pérdida neta de material particulado causado por escorrentía, compactación, etc.) es por eso que estos indicadores son los encargados de determinar como el suelo acepta, retiene y proporciona agua a las plantas y sus alrededores (Bravo et al., 2017).

2.5.1.1 Textura

Es un indicador físico importante ya que este permite influir en diversos aspectos en la calidad del suelo. Este parámetro se lo puede determinar de acuerdo con el porcentaje de arena, limo y arcilla que contenga. A su vez esta es una propiedad única ya que así existan diferentes prácticas de manejo no va a cambiar. “Los cuatro tipos de suelos se clasifican en (1) arenosos; (2) limusinas; (3) suelos francos y (4) arcillosos o barro” (Stivers, 2017).

Por otra parte (GLOBE, 2005) plantea que, la textura del suelo influye en la cantidad de agua, calor y nutrientes que van a quedar retenidos en un perfil de suelo.

Una fácil manera de poder reconocer la textura del suelo es mediante las manos humanas, ya que estas son sensibles a la diferencia de tamaño de las partículas de suelo. La arena constituye el grupo de partículas más grande y se percibe áspera al tacto. El limo corresponde al siguiente grupo de un tamaño menor y se siente suave al tacto. La arcilla es el grupo de tamaño más reducido, es pegajosa y resulta difícil de romper al apretarla (GLOBE, 2005).



Gráfico 10-2: Textura del suelo mediante la herramienta del tacto

Fuente: (Ritchey et al., 2015)

2.5.1.2 *Profundidad del Suelo*

Esta es el espacio donde las plantas pueden asentarse sin ningún problema, para así poder conseguir el agua y los nutrimentos indispensables, lo cual va a ser de suma importancia para las plantas o cultivos que se siembren en el suelo estudiado. Esta puede ser medida fácilmente al momento de hacer un hoyo en el punto de muestreo y se mide con una cinta métrica la profundidad (L. García, 2017). El autor antes mencionado nos presenta una tabla de calificación de acuerdo a la profundidad del suelo.

Tabla 2-2. Clasificación de la profundidad efectiva del suelo

Profundidad del suelo (cm)	
Muy profundo	> de 150
Profundo	150 - 100
Moderadamente profundo	100 - 50
Superficial	50 - 25
Moderadamente superficial	< de 25

Fuente: (L. García, 2017).

Realizado por: Autores

2.5.1.3 *Infiltración, Densidad Aparente y Densidad Real*

Al hablar de la densidad nos hacemos referencia a la masa del suelo por unidad de volumen (g/cm^3). Y uno de los métodos con el cual se puede medir este indicador es el de la probeta donde se usa la muestra molida y tamizada (Y. García, Ramírez, et al., 2012).

(Ramirez, 1997) plantea que la densidad aparente es la relación existente entre la masa y el volumen de suelo. en este volumen está considerado todo el espacio poroso existente permitiéndonos conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, la porosidad. la disponibilidad de agua y de oxígeno, etc. Los suelos de los Llanos presentan una densidad aparente que oscila de 1.2 a 1.95 g/ cm³.

Tabla 2-2: Relación entre la densidad aparente y la porosidad total

Densidad Aparente, G/CC	Porosidad TOTAL, %
< 1.0	>63
1.0 – 1.2	55 -62
1.2 – 1.4	47 – 54
1.4 – 1.6	40 – 46
1.6 – 1.8	32 – 39
>1.8	<31

Fuente: (Ramirez, 1997)

2.5.1.4 Densidad Real

Para (Ramirez, 1997) es la relación entre el volumen de las partículas de suelo y el volumen de éstas sin considerar el espacio poroso. La densidad real. cuando no se presentan cantidades considerables de materia orgánica. fluctúa entre 2.5 y 2.6 g/ cc. y alcanza el mayor valor (2.65 g/ cc) en suelos arcillosos o arenosos con muy poca materia orgánica.

El estado de porosidad del suelo se puede conocer mediante la siguiente relación:

$$PT = (Dr - Da) / Dr \times 100$$

donde:

PT: porosidad total expresada en porcentaje

Dr: densidad real

Da: densidad aparente

También se pueden deducir los macroporos (espacios donde se encuentra el oxígeno disponible) y los microporos, que contienen el agua aprovechable por las plantas:

$$\text{Microporos} = D_a \times \%HE$$

$$\text{Macroporos} = PT - \text{Microporos}$$

donde: HE es el contenido de humedad equivalente del suelo, expresado en porcentaje.

2.5.2 Indicadores químicos

Son aquellos que permiten evidenciar las condiciones que afectan la relación suelo-planta (A. Bautista et al., 2004). Así mismo este ocasiona una afectación en la calidad de agua, capacidad amortiguadora del suelo como también la disponibilidad de nutrientes y agua, los cuales plantas y microorganismos usan para su formación (Estrada et al., 2017). Según (Orozco et al., 2015) estos indicadores son de utilidad para evaluar el grado de vulnerabilidad de los suelos, establecen mecanismos para un monitoreo temprano, ayudando a prevenir posibles degradaciones progresivas en el suelo.

2.5.2.1 Materia Orgánica (MO)

Al hablar de MO, nos referimos a la capa del suelo que esta compuesta por todos los desechos que alguna vez estuvieron con vida, este indicador es de suma importancia ya que es una característica que permite proporcionar una fuente de carbono y energía a los microorganismos del suelo, permite estabilizar y cohesionar las partículas de este, reduciendo así la erosión y ayudando a que los cultivos que son sembrados en estos suelos se reproduzcan favorablemente (González, 2013).

2.5.2.2 Nitrógeno (N)

Este es considerado como un macronutriente que es fundamental para la vida, ya que este conjuntamente con el fósforo y potasio, agrupan las principales biomoléculas que un ser vivo posee, en los suelos este indicador influye en la fertilidad de los mismos ya que nos proporciona las condiciones adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas (González, 2013). La disponibilidad de este elemento depende de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos. Esta mineralización se da en valores cercanos a pH 7, que es donde mayor desarrollo presentan las bacterias encargadas de la nitrificación y la fijación de nitrógeno (Ramírez, 1997).

2.5.2.3 Fósforo Soluble (Ps)

Este macronutriente es esencial en las plantas y los microorganismos, está compuesto de ácidos nucleicos y de los fosfolípidos (González, 2013). Si el pH es ácido, la solubilidad del aluminio y del hierro es alta. Estos compuestos precipitan con el fósforo como compuestos insolubles, el fósforo presenta su mayor disponibilidad con pH entre 6.5 y 7.5, siendo en ese rango donde se presenta la mayor mineralización de compuestos de fósforo orgánico y mineral.

2.5.2.4 Calcio, magnesio y potasio

Estos elementos aumentan su solubilidad con pH de 7 a 8.5. En suelos ácidos, la CIC disminuye y, por lo tanto, aumenta la posibilidad de que estos elementos sean lavados del perfil (Ramírez, 1997).

2.5.2.5 Azufre

Se presenta en forma asimilable como SO_4 . La elevación del pH a valores cercanos a la neutralidad aumenta la disponibilidad del azufre, ya que se favorecen las reacciones biológicas y la solubilidad de los compuestos Inorgánicos que contienen este elemento; el pH óptimo está entre 6 y 8 (Ramírez, 1997).

2.5.2.6 Hierro y manganeso

Se encuentran disponibles en valores ácidos, ya que en pH alto precipitan en compuestos Insolubles como hidróxidos y óxidos, respectivamente. El pH óptimo para manganeso está entre 5 y 6.5, para hierro entre 3.5 a 6.5 (Ramírez, 1997).

2.5.2.7 Cobre y zinc

La solubilidad de estos elementos es muy limitada a pH elevados, su mayor disponibilidad se encuentra en pH ácidos a neutros, de 5 a 7.13 (Ramírez, 1997).

2.5.2.8 Boro

Incrementos en el pH limitan la solubilidad del boro. Por lo tanto, la mayor solubilidad de éste se presenta en pH entre 5 y 7, debido a que con valores mayores reacciona con compuestos orgánicos (Ramírez, 1997).

2.5.2.9 Molibdeno

Este es el único micronutriente que aumenta su disponibilidad con el incremento en el pH, debido a que se encuentra retenido por óxidos hidratados de hierro y aluminio. Al elevarse el pH, se precipita el hierro y el aluminio dejando disponible este elemento (Ramírez, 1997).

2.5.2.10 Porcentaje de saturación de bases

Un incremento en el pH, a valores cercanos a 7, da como resultado mayor solubilidad para los diferentes elementos, por lo que provoca un mayor porcentaje de saturación de bases (Ramírez, 1997).

2.5.2.11 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La CIC es la cuantificación de la capacidad del suelo para retener cationes. Esta carga va a depender de la textura del suelo y del contenido de materia orgánica, es por eso que (González, 2013) manifiesta que entre “más arcilla y materia orgánica en el suelo, la capacidad de intercambio es mayor”.

La capacidad de intercambio catiónico se define como el número de cargas negativas del suelo y se expresa en meq/ 100g de suelo. Aumentos en el pH traen como consecuencia un incremento en las cargas negativas. ya que el aluminio se precipita. la concentración de hidrogeniones disminuye. por lo tanto, la CIC aumenta (Ramírez, 1997).

El autor antes mencionado también plantea que, a valores altos de la ele existe una gran disponibilidad de los diferentes elementos en el suelo. Menores a 10 meq/ 100g.s. son bajos. entre 10 y 20 medios. de 20 a 30 altos y mayores a 30 meq/100g.s. muy altos (Ramírez, 1997).

2.5.3 Indicadores biológicos

Permiten analizar los cambios en las propiedades que ayudan en la fertilidad o abundancia a través de micro y macroorganismos (A. Bautista et al., 2004). Según (Y. García, Ramírez, et al., 2012) los indicadores biológicos integran una gran cantidad de factores, tanto de manera directa (incorporación y redistribución de varios materiales) o indirecta (formación de comunidades microbiales, transporte de propágulos, antibiosis o reducción selectiva de la viabilidad) que afectan la calidad del suelo, como la abundancia y los subproductos de los macro invertebrados.

2.5.3.1 Biomasa microbiana

Este indicador según (González, 2013), nos permite indicar la mezcla de organismos presentes que viven en el suelo, al estos estar en una interacción con distintas especies llegan a formar una red de actividad biológica, mejorando así propiedades y funciones del suelo como la mineralización de la MO, la entrada y almacenamiento de agua, movilización de nutrimentos entre otros (González, 2013).



Gráfico 21-2: Microorganismos del suelo

Fuente: (Ritchey et al., 2015)

La macrofauna edáfica está compuesta por animales invertebrados que pasan toda o una parte de su vida dentro del suelo, sobre la superficie inmediata de éste, en la hojarasca superficial y los troncos caídos en descomposición (Cabrera, 2014). Los suelos sanos están llenos de organismos vivos como bacterias, hongos, insectos, lombrices y otros. Mientras estos organismos desarrollan su vida van prestando un servicio muy útil al ayudar a mantener la calidad del suelo (Stivers, 2017).

Como lo manifiesta (Cabrera, 2014), esta macrofauna posee un ancho de cuerpo o diámetro mayor de 2 mm y una longitud igual o mayor de 10 mm; siendo posibles de detectar a simple vista, a diferencia de otros invertebrados más pequeños que integran la mesofauna (diámetro entre 0.2 - 2 mm) y la microfauna edáfica (diámetro menor de 0.2 mm) (Brown et al., 2001). Por otra parte, a partir de su función e impacto en el suelo, de su forma de vida y de su fuente de alimentación o hábito alimentario, la macrofauna se puede dividir en distintos grupos funcionales, entre ellos los detritívoros, los herbívoros y los depredadores (Zerbino et al., 2008), y con una repercusión especial en la evolución y productividad del suelo se pueden señalar a los ingenieros del ecosistema.

La presencia de estos organismos en el suelo de estudio puede ayudar a determinar su estado ecológico en donde se lleva a cabo su ciclo biológico (Loné, 2016).

En la siguiente tabla propuesta por (Ballesta & González, 2006) nos presenta la relación con la condición y función del suelo de cada una de las propiedades ya antes mencionadas.

Tabla 3-2. Relación con la condición y función del suelo

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo
Físicas	
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo
Profundidad del suelo	Estima la productividad potencial y la erosión
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica.
Químicas	
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión
pH	Define la actividad química y biológica
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana
P, N y K extractables	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental.
Biológicas	
Biomasa microbiana (C y N)	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N, cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica.

Respiración, humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana; estima la actividad de la biomasa.
N pot. mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N

Fuente ((Ballesta & González, 2006)

Elaborado por: Los autores

Se conoce varios indicadores potenciales de la calidad del suelo, dando uso de parámetros físicos, químicos y biológicos, como también de la escala de estudio de los mismo, como menciona (Vargas, 2010) en la siguiente tabla.

Tabla 4-2. Indicadores potenciales de la calidad del suelo

MESOESCALA (Explotación agrícola)		
Color, espesor horizonte Ap	Cambios de materia orgánica	Rendimiento cultivos
Compactación por laboreo	Acumulación de metales pesados	Adventicias
Infiltración	Cambios en salinidad	Deficiencias nutrientes
Erosión de cárcavas	Pérdidas por lixiviación	Características del cultivo
Cubierta superficial		
MACROESCALA (Agroecosistema)		
Desertificación	Acidificación	Productividad
Pérdida de cubierta vegetal	Salinidad	Diversidad y riqueza especies
Erosión eólica e hídrica	Cambios calidad agua	Especies llave del sistema
Sedimentos en lagos y ríos	Cambios calidad aire	Biomasa, densidad, abundancia

Fuente: (Ferrerías et al., 2009)

Elaborado por: Los autores

2.6 Aplicación de los indicadores de calidad.

A través de un indicador de calidad (IC) nosotros podemos describir y evaluar los principales procesos metabólicos, ganancias y pérdidas de la calidad que se acontecen en el suelo (Toledo et al., 2018).

El aplicar una cantidad necesaria de indicadores permiten construir de una manera precisa índices de calidad del suelo, partiendo desde el más simples como el cociente metabólico (Qco2) hasta los índices multiparamétricos: SQIa (índice de adición), SQI Unificado (índice unificado) y SQIw (índice aditivo ponderado), que son utilizados para

las diferencias entre sistemas de manejo, contaminación, y tipo de vegetación, facilitando la información adecuada de los microorganismos específicos y sus enzimas en los procesos o funciones que cada uno de ellos realizan para así relacionarlos de una manera estratégica y determinar si existe una alteración con la funcionalidad del suelo (Sarmiento et al., 2018).

Dentro de los análisis que se han considerado a lo largo del tiempo para el estudio de la calidad del suelo han existido contradicciones conceptuales basadas en dos posiciones diferentes sobre los indicadores de calidad, el primero se basa en establecer conceptos y criterios generales sin escoger en grupos de manera ad hoc “para este propósito en específico” donde estos deben ser los mismos en todos los casos con la finalidad de poder evaluar, facilitar y hacer válidas las comparaciones a nivel nacional e internacional, sin embargo la segunda posición se enfoca en que la evaluación de la calidad del suelo no debe ser determinado por un grupo seleccionado ya que dentro del ecosistema existes circunstancia biofísicas que reaccionan a condiciones particulares del ambiente (A. Bautista et al., 2004) (Navarrete et al., 2011). Esta segunda opción es la que actualmente se utiliza.

(Ochoa et al., 2010) plantea que, a causa del deterioro del suelo, se ha podido incrementar el interés por buscar indicadores que permitan evaluar la calidad del mismo, tomando en cuenta que este es una entidad dinámica con diversos procesos ya sean químicos, físicos y biológicos. Estos indicadores deben ser preferiblemente variables cuantitativas, cualitativas, nominales, de rango u ordinales (Prieto et al., 2013).

3 CAPÍTULO 3

TÉCNICAS EMPLEADAS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS

3.1 Clasificación de los indicadores de calidad

El laboratorio es un lugar donde nosotros podemos realizar un sin número de análisis, este cuenta con equipos, maquinas, reactivos necesarios y variados por lo que es importante que se lleven las medidas de seguridad necesarias. Es por eso que (Seguel, 2022) manifiesta que todos los laboratorios deberán respetarse las normativas básicas donde se pueden citar las siguientes y más importantes.

- Todas las personas que trabajen en el laboratorio deben conocer las medidas de seguridad correspondientes.
- El laboratorio debe contar con protocolos visibles para emergencias y accidentes.
- Es prohibido comer alimentos o beber líquidos dentro de las áreas de trabajo.
- Todos los laboratorios deben contar con un inventario actualizado de productos químicos, incluyendo las fichas de seguridad de todos ellos.
- No se deben ubicar equipos o tomas eléctricas cerca de fuentes de agua, agentes corrosivos o inflamables.
- Al terminar el trabajo, asegurarse de desconectar los aparatos eléctricos y cerrar las conexiones a gas.
- Es obligatorio el uso de delantal blanco.
- De forma general, deben utilizarse guantes y protección ocular.
- Es obligatorio el uso de pantalones o vestidos largos y zapatos cerrados.
- Es necesario lavarse las manos después de terminar cada procedimiento, al cambiar de tarea y al salir del laboratorio.
- Deben utilizarse dispositivos para pipetear y jamás la boca para estos propósitos.
- Las personas que tengan el pelo largo deberán llevarlo amarrado, la cara debe estar despejada.

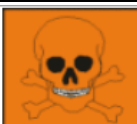
- Se aconseja no utilizar joyas, pulseras, anillos o mangas anchas mientras se realizan procedimientos experimentales.
- El laboratorio una vez utilizado debe quedar limpio y ordenado.

3.2 Seguridad en el laboratorio

Al hablar de la seguridad en el laboratorio nos referimos a la importancia de conocer que significa cada pictograma que se puede encontrar en los diferentes reactivos para evitar el uso inadecuado y posibles accidentes, a continuación, algunos de los pictogramas que podemos encontrar.

Tabla 1-3: Pictogramas del laboratorio.

Símbolo	Peligro	Precaución
	Compuestos que pueden inflamar sustancias combustibles o favorecer la amplitud de incendios ya declarados, dificultando su extinción	Evitar el contacto con sustancias combustibles
	Por contacto con estas sustancias se destruye tejido vivo y otros materiales	No inhalar los vapores y evitar el contacto con la piel, ojos y ropa
	Sustancias que pueden explotar bajo determinadas condiciones	Evitar choque, percusión, fricción, chispas y calor
	Sustancias extremadamente inflamables, bien de forma espontánea, o en contacto con el aire o el agua.	Aislar de fuentes de calor, llamas o chispas

 Inflammable Flammable Inflammable	Sustancias inflamables o volátiles	Aislar de fuentes de calor, llamas o chispas
 Irritante Irritant Irritant	Producen irritación sobre la piel, ojos y sistema respiratorio	No inhalar los vapores y evitar el contacto con la piel
 Peligroso para el Medio Ambiente	Sustancias que afectan de manera irreversible al medio ambiente	Evitar su eliminación de forma incontrolada
 Tóxico Toxic Toxique	Sustancias que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden entrañar riesgos para la salud	Evitar cualquier contacto con el cuerpo humano
 Muy Tóxico Very Toxic Très Toxique	Sustancias que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden entrañar graves riesgos para la salud	Evitar cualquier contacto con el cuerpo humano y en caso de malestar acudir al médico
 Nocivo Harmful Nocif	Producen efectos nocivos de poca trascendencia	Evitar contacto e inhalación de vapores

Fuente: (Andrades et al., 2015)

Elaborado por: Los autores

3.3 Reglas básicas

3.3.1 Genéricas

Una vez conocido los peligros es importante conocer las reglas básicas que se deben seguir de acuerdo a las situaciones específicas. (UBA, 2022) nos plantea las siguientes reglas.

- Se deberá conocer la ubicación de los elementos de seguridad en el lugar de trabajo, tales como: matafuegos, salidas de emergencia, mantas ignífugas, lavaojos, gabinete para contener derrames, accionamiento de alarmas, etc.
- No se deberán guardar alimentos en el laboratorio, ni en las heladeras que contengan sustancias químicas.
- Se deberá utilizar vestimenta apropiada para realizar trabajos de laboratorio y el cabello recogido (guardapolvo preferentemente de algodón y de mangas largas, zapatos cerrados, evitando el uso de accesorios colgantes).
- No se deben bloquear las rutas de escape o pasillos con equipos, máquinas u otros elementos que entorpezcan la correcta circulación.
- Todo debe estar identificado correctamente
- El almacenamiento en estantería debe ser tal que garantice que todo este colocado en una forma estable.

3.3.2 Específicas

- Se deberán utilizar guantes apropiados para evitar el contacto con sustancias química o material biológico. Toda persona cuyos guantes se encuentren contaminados no deberá tocar objetos, ni superficies, tales como: teléfono, lapiceras, manijas de cajones o puertas, cuadernos, etc. Los guantes se deben retirar en forma segura
- No pipetear con la boca, utilizar los elementos adecuados para realizar la tarea.
- No correr, proteger los ojos y la cara de salpicaduras o impactos se utilizarán anteojos de seguridad, viseras o pantallas faciales u otros dispositivos de protección. Cuando se manipulen productos químicos que emitan vapores o puedan provocar proyecciones, se evitará el uso de lentes de contacto.
- Todo material corrosivo, tóxico, inflamable, oxidante, radiactivo, explosivo o nocivo deberá estar adecuadamente etiquetado.

- Se requerirá el uso respirador descartables (N95 ó N100) cuando exista riesgo de producción de aerosoles (mezcla de partículas en medio líquido) o polvos, durante operaciones de pesada de sustancias tóxicas o biopatógenas, apertura de recipientes con cultivos después de agitación, etc.
- Las prácticas que produzcan gases, vapores, humos o partículas, que pueden ser riesgosas por inhalación deben llevarse a cabo bajo campana/cabina de extracción. Cuando ello no sea posible se debe utilizar respirador completo con los filtros adecuados
- Se deberá verificar la ausencia de vapores inflamables antes de encender una fuente de ignición. No se operará con materiales inflamables o solventes sobre llama directa o cerca de las mismas. Para calentamiento, sólo se utilizarán resistencias eléctricas o planchas calefactoras blindadas. Se prestará especial atención al punto de inflamación y de autoignición del producto.
- Los laboratorios contarán con un botiquín de primeros auxilios con los elementos indispensables para atender casos de emergencia que puedan ocurrir.

3.3.3 Residuos

El material de vidrio roto, contaminado no se depositará con los residuos comunes. Se descartará en bolsa amarilla envuelto en papel. El que sea necesario reparar se entregará limpio al taller.

Está prohibido descartar líquidos inflamables o tóxicos o corrosivos o material biológico por los desagües de las piletas, sanitarios o recipientes comunes para residuos. En cada caso se deberán seguir los procedimientos establecidos para la gestión de residuos.

3.3.3.1 Inflamables y combustibles

Cuando sea necesario manipular grandes cantidades de materiales inflamables (más de 5 litros.) deberá tenerse a mano un extintor apropiado para ese material.

Cuando se trasvase material combustible o inflamable de un tambor a un recipiente más pequeño, realice una conexión con una cadena del tambor a tierra y con otra entre el tambor y el recipiente de manera de igualar potenciales y eliminar la posible carga estática.

Mantener las posibles fuentes de ignición apagadas cuando realice trasvases.

3.3.4 Almacenamiento seguro

- Al almacenar sustancias químicas considere que hay cierto número de ellas que son incompatibles que almacenadas juntas pueden dar reacciones peligrosas.
- No almacene en estantes sobre mesadas ó en altura sustancias corrosivas, tóxicas, inflamables, irritantes, etc.
- Los estantes en altura donde coloque materiales deben contar con una baranda de contención para evitar accidentes
- Almacene sustancias químicas en estantes bajo mesadas. Deben ser mantenidas en bandejas de material adecuado, capaces de contener el volumen derramado.
- Los cilindros de gases comprimidos y licuados deben asegurarse en posición vertical con pinzas, grampas y correas o cadenas a la pared en sitios de poca circulación, protegidos de la humedad y fuentes de calor, de ser posible en el exterior. Las cadenas deben estar colocadas de tal forma de garantizar que no haya posibles desplazamientos que originen caídas. No se deben amarrar más de un tubo.

3.4 Procedimientos ante emergencias

3.4.1 Emergencias médicas

Si ocurre una emergencia tal como: cortes o abrasiones, quemaduras o ingestión accidental de algún producto químico, tóxico o peligroso, se deberá proceder:

- Llame al encargado del laboratorio e informe el tipo y grado de la emergencia.
- A los accidentados se les proveerán los primeros auxilios.
- El responsable del Laboratorio notificará el accidente al Servicio de Higiene y Seguridad o se procederá a llevar al dispensario para su evaluación e informe, donde se determinarán las causas y se elaborarán las propuestas para modificar dichas causas y evitar futuras repeticiones.

3.4.2 Incendios

- Mantenga la calma. Lo más importante es ponerse a salvo y dar aviso a los demás.
- Si hay alarma, acciónela. Si no grite para alertar al resto.

- Se dará aviso inmediatamente al responsable informando el lugar y las características del siniestro. Si el fuego es pequeño y sabe utilizar un extintor, úselo.
- Si el fuego es de consideración, no se arriesgue y manteniendo la calma ponga en marcha el plan de evacuación.
- Si debe evacuar el sector apague los equipos eléctricos y cierre las llaves de gas y ventanas.
- Evacue la zona por la ruta asignada.
- No corra, camine rápido, cerrando a su paso la mayor cantidad de puertas.
- No utilice ascensores.
- Descienda siempre que sea posible.
- No lleve consigo objetos, pueden entorpecer su salida.
- Si pudo salir por ninguna causa vuelva a entrar.

3.4.3 Derrames de productos químicos

- Atender a cualquier persona que pueda haber sido afectada, retirándola del lugar.
- La persona afectada se le debe retirar la ropa que está en contacto con la sustancia química y se debe proceder a lavar con abundante agua por un tiempo mínimo de 20 minutos
- Notificar a las personas que se encuentren en las áreas cercanas acerca del derrame.
- Retirar los elementos necesarios del gabinete antiderrame
- Coloque la cinta de demarcación para advertir el peligro.
- Evacuar a toda persona no esencial del área del derrame.
- Si el derrame es de material inflamable, apagar las fuentes de ignición, y las fuentes de calor.
- Evite respirar los vapores del material derramado, si es necesario utilizar una máscara respiratoria con filtros apropiados al tipo de derrame.
- Ventilar la zona.

- Utilizar los elementos de protección personal tales como equipo de ropa resistente a ácidos, bases y solventes orgánicos y guantes.
- Confinar o contener el derrame, evitando que se extienda. Para ello extender los cordones en el contorno del derrame.
- Luego absorber con los paños sobre el derrame.
- Deje actuar y luego recoger con pala y colocar el residuo en la bolsa roja para derrames de material biológico, bolsa amarilla para derrames químicos y ciérrela.
- Comuníquese con el Servicio de Higiene y Seguridad para informar sobre el derrame
- Si el derrame es de algún elemento muy volátil deje dentro de la campana hasta que lo retire para su disposición.
- Lave el área del derrame con agua y jabón. Seque bien.
- Cuidadosamente retire y limpie todos los elementos que puedan haber sido salpicados por el derrame.
- Descarte los guantes, etc. contaminados junto a los residuos.
- Si considera que no puede contener el derrame, comunicarse con el responsable para ser trasladado a una casa de salud.

3.5 Análisis para determinar la calidad del suelo

3.5.1 Determinación de Textura

(Llitjós-Viza & Molera-Marimón, 1995) nos plantean los siguientes métodos para poder determinar la textura del suelo.

3.5.1.1 Método del hidrómetro o densímetro de Bouyoucos

Fundamento:

El método se fundamenta en la Ley de Stockes que relaciona la velocidad de caída de las partículas sólidas esféricas de un líquido, con su diámetro y la densidad de la suspensión en la que caen en un régimen laminar de bajos números de Reynolds (Marimón & Viza, 1995), para determinar el contenido de arcilla, limo y arena, estos se obtienen mediante la separación de las partículas en grados clasificados de acuerdo a su diámetro, empleando el hidrómetro, el mismo se basa en la velocidad de sedimentación

de las partículas, en relación a su tamaño, peso y medio en que se sedimentan (previamente calibrado) (Maldonado, 2016).

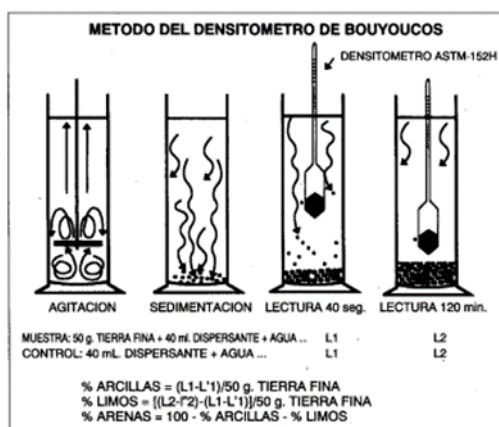


Gráfico 1-3: Método de hidrómetro de Bouyoucos

Fuente: (Marimón & Viza, 1995).

Procedimiento:

Se pesan 50g de suelo seco, se pasa a un Erlenmeyer adicionando 10 mL de dispersante, se deja reposar durante unos minutos y se agita por 2 horas. La suspensión del suelo se vierte en el cilindro de 1000 mL, con agua destilada llevar el nivel del agua hasta la marca inferior del cilindro con el hidrómetro o densímetro dentro, agitar vigorosamente y sumergir el hidrómetro a los 40 segundos tomar la lectura del hidrómetro y la temperatura, dejamos el recipiente quieto que no se perturbe la solución y pasadas 2 horas se vuelven a tomar las lecturas.

Cálculo

Lectura corregida para los 40 segundos y 2 horas

$$LC = L_{real} + \text{Factor de corrección por temperatura}$$

Factor de corrección por temperatura

Tabla 2-3: Factor de corrección por temperatura

Temperatura °C	Factor de corrección	Temperatura °C	Factor de corrección	Temperatura °C	Factor de corrección
15	-1.62	19.5	0	24	1.62
15.5	- 1.44	20	0.18	24.5	1.8
16	- 1.26	20.5	0.36	25	1.98
16.5	- 10.8	21	0.54	25.5	2.15
17	- 0.9	21.5	0.72	26	2.34
17.5	- 0.72	22	0.9	26.5	2.52
18	- 0.54	22.5	1.08	27	2.7

18.5	- 0.36	23	1.26	27.5	2.858
19	- 0.18	23.5	1.44	28	3.06

Fuente: (NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT, 2002).

Elaborado por: Los autores

Texturas

Porcentaje de arena

$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{LC_{40 \text{ seg}} * 100}{\text{masa suelo seco (g)}}$$

Porcentaje de arcilla

$$\% \text{ Arcilla} = 100 - \frac{LC_{2 \text{ h}} * 100}{\text{masa suelo seco (g)}}$$

Porcentaje de limo

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ Arena} + \% \text{ Arcilla})$$

Interpretación

Según (Jaramillo, 2002), el principio analítico se basa en dejar sedimentar una muestra de suelo en un medio líquido durante un determinado tiempo, al cabo del cual se cuantifica la cantidad de partículas de una determinado tamaño que hay en suspensión; la medida de estas partículas en suspensión se las realiza directamente en el líquido, por medio de un hidrómetro (que es un densímetro), se hace mención entre clase textural y nombres de los suelos.

Con los porcentajes de arena, limo y arcilla y mediante el uso del triángulo de textura se determina la textura del suelo, donde las líneas trazadas en el triángulo (paralelas a los lados), fijan los límites porcentuales de cada componente (Arcilla, limo y arena). Por ejemplo, si un suelo contiene 60 % de arena, 30 % de limo y 10 % de arcilla corresponde a una textura franca arenosa. En cambio, si el porcentaje de arcilla se incrementa, 30 %, el limo al 40 % y la arena también 40 %, la textura es Franco arcillosa (FAO, 2015).

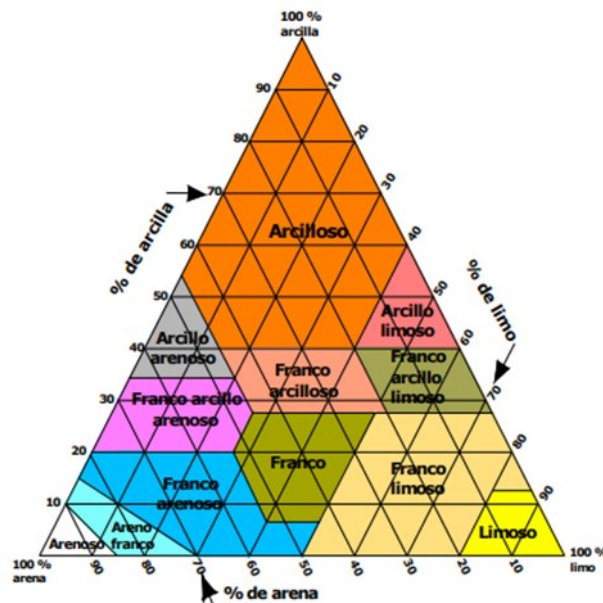


Gráfico 2-3: Diagrama textural para la muestra de suelo

Fuente: (SSDS, 1993)

3.5.1.2 Método organoléptico o del tacto (Nadal, 1978. Escuredo ET AL., 1983; Del Carmen, 1984; Hereter ET AL., 1988)

Fundamento:

Es un método de campo más utilizado en edafología, todos los sistemas de clasificación al tacto propuestos se basan en manipular con los dedos una porción de muestra seca y/o mojada, experimentar la rugosidad, la capacidad de hacer moldes o "gusanos" más o menos delgados, la pegajosidad en la palma de la mano, etc. A partir de estas observaciones se presenta un sistema de claves de clasificación que permiten atribuir a la muestra una clase textural (Marimón & Viza, 1995).



Gráfico 3-3: Determinación de la textura del suelo al tacto (bola de 2,5 cm).

Fuente: (Yagual 2020)

Procedimiento:

Según la prueba de (FAO, 2015) se sigue el siguiente procedimiento.

Se coloca una pequeña cantidad de suelo en el tamiz para separar las gravas y piedras a 2mm. Se toma una cantidad aproximada de suelo en la palma de la mano, agregando un poco de agua (gota a gota) para humedecer la muestra. Se amasa el suelo para poder disolver todos los agregados. Después se amasa la muestra del suelo hasta formar una bolita de 2,5 cm de diámetro en la palma de la mano.

Interpretación

Para la determinación de la textura se generan los siguientes ensayos de campo:

- Si la bola no se mantiene, es decir, se deshace la muestra es una *arena*.
- Si se mantiene la forma, se intenta hacer un cilindro de 1 cm de diámetro. Si no es posible la textura es *arenoso franco*.
- Si esto se consigue, se continúa amasando el cilindro hasta que alcance una longitud mayor a la anterior. Si no se mantiene se trata de una muestra *franco arenoso*.
- Posteriormente si se consigue mantener la forma, se intenta doblar el cilindro hasta formar un semicírculo. Si no es posible es *franco*.
- Si se consigue el paso anterior, seguimos doblando el cilindro hasta formar un círculo cerrado. En caso de no ser posible se trata de *franco pesado*.
- Si la muestra se mantiene y se forman grietas ligeras es limo. Si el círculo es doblado y no se agrieta es *arcilla*.



Gráfico 4-3: Textura de suelo Franco Pesado, Limo y Arcilla

Fuente: (FAO, 2015)

Si el cilindro se cuartea al formar el anillo, se vuelve a moldear una bola y se manipula entre los dedos para estimar la sensación general que produce el suelo. Si el suelo es áspero, la textura es Franco arcillosa arenosa, si el suelo es moderadamente áspero Franco arcilloso y si el suelo es blando y suave, la textura es Franco arcillo limosa.

3.5.1.3 Método de observación de capas de sedimentación (Neviani, 1975; Nadal, 1978; Del Carmen, 1984)

Fundamento:

Este método consiste en poner una muestra de suelo en una probeta llenarla con agua y después de agitar unos minutos dejar que sedimenten las partículas por orden de tamaño. (Según la ley de Stokes la velocidad de sedimentación de una partícula sólida en un fluido depende entre otros factores del diámetro de la partícula). Seguidamente se observan las capas depositadas.



Gráfico 5-3: Método de hidrómetro de Bouyoucos

Fuente: (Badía et al., 2017)

Procedimiento:

Según la prueba de (FAO, 2015) se sigue el siguiente procedimiento.

Se pesan 50 g de suelo, se añaden 100 mL de agua destilada y se agita fuertemente. Posteriormente se cronometra el tiempo durante una hora. Transcurrido este tiempo, el agua estará transparente y observará que las partículas mayores se han sedimentado.

Cálculo

Porcentaje de textura obtenidos de la pipeta

$$\% \text{ Parte superior (arcilla)} = \frac{\text{Capa arcilla (cm)} * 100}{\text{Tierra total (cm)}}$$

$$\% \text{ Parte intermedia (limo)} = \frac{\text{Capa limo (cm)} * 100}{\text{Tierra total (cm)}}$$

$$\% \text{ Parte intermedia (arena)} = \frac{\text{Capa arena (cm)} * 100}{\text{Tierra total (cm)}}$$

Interpretación

Medir con la cinta métrica la altura total de la muestra y posteriormente medir el espesor de cada capa visible, colocar esta medición en la cinta adhesiva. Con una regla de tres podremos saber el porcentaje aproximado de cada capa, mediante el uso del triángulo de textura se determina la textura del suelo.

3.5.1.4 Método dispersión-sedimentación

Fundamento

De acuerdo con la ley de Stockes, calculamos el tiempo que tardarían en sedimentar las arenas y los limos y marcamos, en dichos tiempos, la línea de sedimentación que se observa en la probeta.

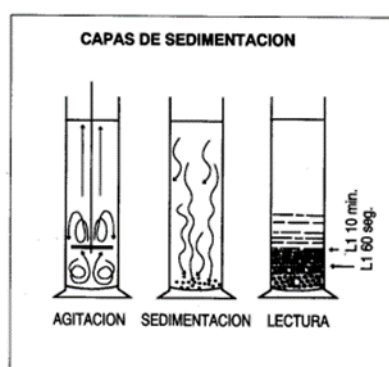


Gráfico 6-3: Determinación de la textura del suelo por sedimentación y dispersión.

Fuente: (Yagual 2020)

Procedimiento:

- Introducir 50 cm³ de tierra fina (muestra de suelo pasada por un tamiz de 2 mm de luz) en una probeta graduada de 250 mL.
- Añadir solución dispersante ("Calgón" al 1 %) hasta enrasar la probeta a 250 mL.
- Agitar enérgicamente la muestra un mínimo de diez minutos con un émbolo agitador.
- Dejar sedimentar la suspensión.
- Observar, durante dos minutos, como se va desplazando hacia arriba la línea de sedimentación.
- Volver a agitar con el émbolo un minuto y dejar sedimentar la muestra.
- Marcar con un rotulador adecuado el punto en el que se encuentra la línea de sedimentación en los tiempos: 60 segundos (L1) y 10 minutos (L2).

- Observar detalladamente las diferentes capas visibles, describir el color, el tamaño de las partículas y si se quiere el grosor de cada capa. Este trabajo de observación puede ser muy interesante para constatar la heterogeneidad del suelo, o la sedimentación de las partículas según su tamaño.
- Comparar las líneas de sedimentación L_1 y L_2 de las diferentes muestras estudiadas. La línea L_1 nos indica aproximadamente el nivel de sedimentación de las arenas. La línea L_2 nos indica con un error considerable el nivel de sedimentación de los limos.

Cálculo

Porcentajes de sedimentación en función al volumen de la probeta

$$\% \text{ fracción grosera (arena)} = \frac{L_1 \text{ mL}}{50 \text{ mL} * 100}$$

$$\% \text{ fracción media (limos)} = \frac{L_2 \text{ mL} - L_1 \text{ mL}}{50 \text{ mL} * 100}$$

$$\% \text{ fracción fina (arcilla)} = 100 - \% \text{ fracción grosera} - \% \text{ fracción media}$$

Donde

L_1 = Nivel de sedimentación de las *arenas*

L_2 = Nivel de sedimentación de los *limos*

Interpretación

Para la determinación de las fracciones de arenas, limos y arcillas se homologan los porcentajes de volumen en masas, cabe recalcar que no se ajusta para los limos ni para las arcillas, posteriormente, mediante el uso del triángulo de textura se determina la textura del suelo.

3.5.1.5 Método de la pipeta

Fundamento

La diferencia de cantidad de material sólido que permanece en suspensión a una profundidad dada en dos tiempos dados representa la cantidad de material que se ha asentado o desplazado más allá de la profundidad de medida, en el intervalo de tiempo. La distancia recorrida por las partículas, en un determinado tiempo, define una velocidad de sedimentación la cual, a través de lo expuesto, puede relacionarse con el tamaño de estas partículas. Uno de los métodos más difundidos y exactos para medir la concentración de las partículas en suspensión es tomar con una pipeta una muestra de la suspensión a la profundidad deseada. Se puede determinar la cantidad de sólido en el

volumen que se ha tomado como muestra, evaporando el agua, secando el residuo y pesándolo. Este método necesita que la pipeta sea llenada a una velocidad uniforme (Bonifácio et al., 2011).



Gráfico 7-3: Análisis de tamaño de partícula con una pipeta.

Fuente: (Bonifácio et al., 2011)

Es un método basado en la ley de Stokes, este tipo de análisis se fundamenta en que las partículas grandes en el seno de un líquido caen con mayor rapidez que las pequeñas y permite cuantificar las partículas de suelo con tamaños menores a 50 μm : limos y arcillas (Norambuena et al., 2002). Tiene pretratamientos exhaustivos para eliminar materia orgánica, (con H_2O_2) uniones de carbonato de calcio (ácido diluido), sales (lavado). La dispersión química (por medio de calgón) y mecánica por batido o agitado (6 a 8 h) (Hernández, 2018).

Procedimiento

Se pesan 20g de suelo y se coloca en un vaso de 250 ml y fue sometido a la dispersión mediante la adición de 10mL de pirofosfato de sodio y adición de 100 ml de agua destilada. Después de un período de descanso, de aproximadamente 24 horas, la muestra se lleva a agitación mecánica durante 10 minutos en la hélice batidora eléctrica. Con la agitación mecánica completa, el contenido se hace pasar por un tamiz de malla de 0.053 mm, colocado en un embudo, teniendo abajo un vaso de 1000 ml. El contenido retenido en el tamiz se lava con agua destilada hasta que solo se quede arena en el tamiz. En este procedimiento, el agua de lavado también se recoge en el vaso.

La arena retenida en el tamiz se trasladada a un vaso y trajo el horno a 105 ° C durante el secado. El volumen de los tubos, que contienen las fracciones arcilla y limo, se completa a 1000 mL. A lo largo de la serie de análisis incluye una muestra “blanca”, preparada con 990 ml de agua destilada y 10 ml de dispersante.

La temperatura de los contenidos de los tubos se determinó mediante el termómetro, poco después, los intervalos de tiempo que permitan tomar el pipeteado de la limo y arcilla; el contenido del vaso se agita durante 1 minuto y, después de la hora adecuada, se mide el pipeteado de 10 ml del sobrenadante.

El limo se recolecta en 10 cm de profundidad y, después de una demora de 3 a 4 horas, la arcilla se recogió a 5 cm. Las alícuotas fueron colocadas en vasos de 50 ml (previamente pesados) y después fueron llevadas en el horno para el secado a 110 ° C.

Después de un período de 24 horas en el horno, las muestras se colocan en un desecador durante 30 minutos para refrescarse. Después de esta etapa, se pesan. Las arenas se hacen pasar por un tamiz de malla de 0.250 mm de diámetro para la separación de la arena fina y arena gruesa.

Cálculo

Para obtener los valores de las fracciones aplicó el siguiente cálculo:

Cálculo de las fracciones obtenidas por tamizado y pipeteo

$$\% \text{ arcilla} = [\text{contenido de arcilla (g)} + \text{dispersante (g)}] - \text{dispersante (g)} \times 1000$$

$$\% \text{ limo fino} = \{\text{contenido de limo (g)} - [\text{contenido de arcilla (g)} + \text{dispersante (g)}]\} \times 1000$$

$$\% \text{ arena fina} = \text{arena fina (g)} \times 50$$

$$\% \text{ arena gruesa} = \text{arena gruesa (g)} \times 50$$

$$\% \text{ limo grueso} = 100 - (\text{arena gruesa}\% + \text{arena fina}\% + \text{limo fino}\% + \text{arcilla}\%)$$

Interpretación

Con los resultados obtenidos se hace una triangulación en el gráfico de clases texturales mencionado con anterioridad.

3.5.2 Determinación de la Densidad Aparente

Para poder medir este parámetro existen diferentes metodologías, (L. García, 2017) nos plantea el método del cilindro y método del hoyo.

3.5.2.1 Método del Cilindro

Fundamento

La porosidad del suelo está directamente relacionada con la densidad aparente (DA), la que se define como la masa de un suelo seco por unidad de volumen (sólidos + poros) del mismo (Porta et al., 1994). Los métodos más comunes se basan en la extracción

de un volumen conocido de suelo y la medición de su masa luego de haber sido secada (Klute, 1986).



Gráfico 8-3: Cilindro para la determinación de la densidad aparente.

Fuente: (Sánchez et al., 2010)

Cada factor que influya sobre el arreglo espacial afecta su porosidad y en consecuencia su Densidad aparente, por ende los suelos con mayor proporción de poros presentan menor DA que aquéllos que están más compactados. De allí que la DA de un suelo da una idea de su grado de compactación. Altas DA afectan al crecimiento vegetal debido a la restricción al crecimiento de las raíces, asociada a una reducción en la porosidad o al cambio en la distribución del tamaño de los poros (Porta et al., 1994). Por otro lado, el aumento de la DA generalmente se relaciona con incrementos de la resistencia mecánica, lo que conlleva a una limitación adicional al crecimiento de las raíces (Klute, 1986).

Procedimiento:

Para este método se utiliza un muestreador, un cilindro metálico o de PVC de 10 cm y de dos pulgadas de diámetro. Para efecto, coloque el cilindro de PVC sobre la superficie de muestreo, previamente liberada de hojarasca, basura y arvenses. El suelo debe estar inalterado. Con la pala, escarbe alrededor del cilindro y saque el suelo sin perturbarlo. Una vez afuera el cilindro corte con un cuchillo, de manera transversal a cada lado del cilindro. Póngalo a secar en un Horno a 105°C por 24 horas si es que estaba muy húmedo, entre más seco el suelo, menos tiempo necesita estar en el horno. Una vez seco péselo de nuevo y registre ese dato como peso seco.

Cálculo

Se calcula el volumen del cilindro de acuerdo con la formula

$$V = \pi * r^2 * h$$

Dónde:

V = volumen del cilindro en cm³

π = 3.1416 (constante)

r = radio al cuadrado (cm²) o (diámetro cm/2)²

h = altura del cilindro (cm)

El radio r es = diámetro/2

Calcular la densidad aparente por el método del cilindro (Dac) según:

$$Da = \frac{Mss (g)}{V (cm)^3}$$

Donde:

Da = densidad aparente del suelo

Mss = masa o peso del suelo seco

V = volumen del cilindro

Interpretación

Informar los resultados como “densidad aparente”, con valores en (g /cm³) o, de acuerdo con Sistema Internacional, en (mg / m³), los cuales son equivalentes.

Pueden considerarse altos aquellos valores superiores a 1.3 Mg m⁻³ en suelos de textura fina (arcillosos o francos arcillosos), a 1.4 Mg m⁻³ en suelos de textura media (francos a franco limosos), y a 1.6 Mg m⁻³ en suelo de textura gruesa (franco arenoso).

El valor de densidad aparente aumenta con la profundidad del suelo en el perfil, debido al bajo contenido de materia orgánica y, consecuentemente, menor agregación y mayor compactación.

Tabla 3-3: Valores esperables de densidad aparente (Da) por el método del cilindro.

Suelo	Da. Cilindro (mg / m ³)	Rango observado en suelos (mg / m ³)
Franco arenoso	1,40	1,4 – 1,8
Franco	1,20	1,4 – 1,7
Franco limoso	1,15	1,3 – 1,6
Arcilloso	1,05	0,9 – 1,4

Volcánico	<0,90	0,3 – 0,95
Orgánico	0,3	0,15 – 0,45
Compactado	>1,60	1,50 – 1,90
Panes	1,8	1,60 – 2,22

Fuente: (Sandoval et al., 2012).

Elaborado por: Los autores

3.5.2.2 Método del Hoyo

Fundamento

El método del hoyo en el campo se usa en tipos de suelo heterogéneos, con rocas y grietas. Consiste en realizar un hoyo en el suelo para determinar la masa la cual debe estar seca, para obtener el volumen se coloca agua dentro del hoyo forrado previamente con un plástico y finalmente se relaciona la masa seca con el volumen para determinar la densidad aparente (J. C. Gómez, 2013).



Gráfico 9-3: Método del Hoyo

Fuente: (J. C. Gómez, 2013)

Procedimiento

Se excava de un hoyo en el suelo, de 20 cm x 20cm x 15 cm, se extrae y se pesa el suelo que ocupa el hoyo para obtener la masa de suelo. Posteriormente, se mide el volumen del hoyo adicionando agua, que respecta al volumen del hoyo que contenía el suelo. Registre el peso de todo el suelo que sacó del hoyo (en gramos o kilogramos), este peso será húmedo (si el suelo guarda cierta humedad). Tome una muestra de unos 100 gramos del suelo y séquelo por 2 o 3 horas en un horno a 105 °C, calcule la humedad en gramos y réstesela a la masa total de suelo. Ahora tendrá la masa del suelo seco.

Cálculo

Para calcular el valor de la densidad aparente proceda con la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{M_{ss} (g)}{V (cm^3)}$$

Donde:

Da = densidad aparente del suelo (g/cm) o (kg/l)

M_{ss} = masa o peso del suelo seco sacado del hoyo (g o kg)

V = volumen de agua gastada en llenar el hoyo (ml o l)

Interpretación

La interpretación de los resultados de la densidad se asemeja al método del cilindro relacionándolo con la textura del suelo y sus correspondientes categorías mencionadas en el apartado anterior.

3.5.2.3 Métodos radiométricos

Fundamento

Consiste en utilizar aparatos emisores y receptores de rayos gamma. La pérdida de energía de los rayos emitidos está en relación con el número de choques efectuados hasta llegar al receptor y por lo tanto, en relación también con la DA y el contenido de humedad del suelo. Las ventajas son la rapidez y la escasa o nula perturbación del suelo con lo que se pueden realizar numerosas muestras en un mismo lugar, a través del tiempo. Pero son aparatos de elevado costo y de menor precisión que los métodos de medición directa de la DA.

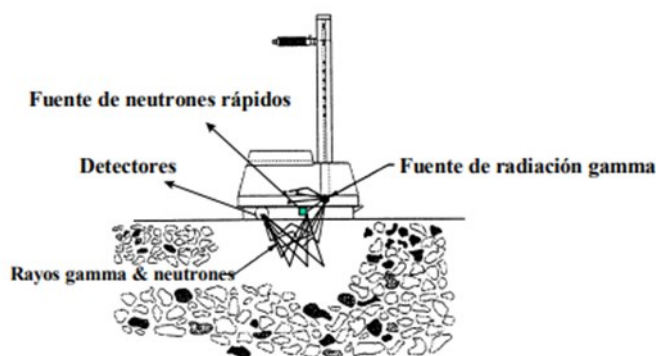


Gráfico 10-3: Sonda de superficie en posición de medición del contenido de agua y densidad aparente de la capa superficial del suelo.

Fuente: (Núñez et al., 2016)

Una fuente de rayos gamma y un detector están montados de un lado al otro del núcleo en un soporte que los alinea con el centro del núcleo. Un haz estrecho de rayos gamma colimados se emite desde una fuente de 137-Cesio con energías principalmente a 0.662 MeV. Estos fotones pasan a través del núcleo y se detectan en el otro lado. En este nivel de energía, el mecanismo principal para la atenuación de los rayos gamma es la dispersión Compton. Los fotones incidentes son dispersados por los electrones en el núcleo con una pérdida parcial de energía. La atenuación, por lo tanto, está directamente relacionada con el número de electrones en el haz de rayos gamma (espesor del núcleo y densidad de electrones). Midiendo el número de fotones gamma transmitidos que pasan a través del núcleo sin atenuar, se puede determinar la densidad del material del núcleo.

Para diferenciar entre fotones dispersos y transmitidos, el sistema de detector de rayos gamma solo cuenta aquellos fotones que tienen la misma energía principal de la fuente. Para hacer esto, se establece una ventana de conteo que abarca la región de interés alrededor de 0.662 MeV.

Procedimiento

Se emplea sondas de superficie utilizan dos procesos físicos: a) la retrodispersión de los rayos gamma y b) la atenuación de los rayos gamma.

En la retrodispersión el detector de rayos gamma mide el número de fotones que retornan a la superficie después de su interacción con los constituyentes del medio sólido. El número de fotones “reflejados” está relacionado con la densidad del medio, pero en forma no-lineal.

En la atenuación el detector de rayos gamma detecta además de los fotones retrodispersados, un cierto número de fotones que atraviesan una capa de suelo de espesor X, situado entre la fuente de rayos gamma y el detector.

Cálculo

Las sondas efectúan las siguientes ecuaciones:

La retrodispersión de los rayos gamma

$$Da = B \ln \left(\frac{A}{CR - C} \right)$$

Donde:

A, B y C = son tres coeficientes determinados experimentalmente a través de medidas en materiales de densidad conocida.

CR = es el contaje relativo o relación de contaje (contaje de fotones retrodispersados en el suelo/contaje en el patrón de densidad).

La atenuación de los rayos gamma

$$I = I_0 \exp[-(\mu_w \theta + \mu_s d_b) X]$$

Donde:

I = Número de fotones que llegan al detector por unidad de tiempo, después de pasar a través de una muestra de suelo de espesor X.

I₀ = Número de fotones que llegan al detector por unidad de tiempo en la ausencia de suelo, para la misma distancia X entre la fuente y el detector.

μ_w y **μ_s** = son los coeficientes de atenuación de los rayos gamma para el agua y el suelo, respectivamente, y son específicos para la energía de los rayos gamma de la fuente usada, **d_s** es la densidad aparente del suelo (g cm⁻³).

T = contenido de agua del suelo (cm³ cm⁻³).

Interpretación

A través de la lectura de los datos el programa direcciona una curva de calibración donde representa la densidad aparente. De la misma manera a la determinación de la densidad aparente de un suelo húmedo por retrodispersión, algunos de los fotones no detectados por el detector se deben a la atenuación por el agua del suelo. La densidad aparente del suelo seco se obtiene a partir de los datos obtenidos de la densidad aparente del suelo húmedo.

3.5.2.4 Método del terrón parafinado

Fundamento

Es el método alternativo cuando no se disponen de cilindros o cuando no están los recursos para trasladar volumen y masa extra del suelo. También es útil si se desea conocer la densidad de los agregados de un tamaño determinado (Sandoval et al., 2012). Consiste en recubrir un agregado (ped) de suelo con una película de parafina sólida para, mediante pesadas en aire y agua, determinar el volumen desplazado (Klute, 1986). En general se requieren al menos tres repeticiones por situación a analizar (es decir, aproximadamente tres terrones dan la certeza obtenida con 1 muestra de cilindro); además

se requiere disponer de terrones extras para la determinación de contenido de agua de estos (Burt, 2004, p. 42).

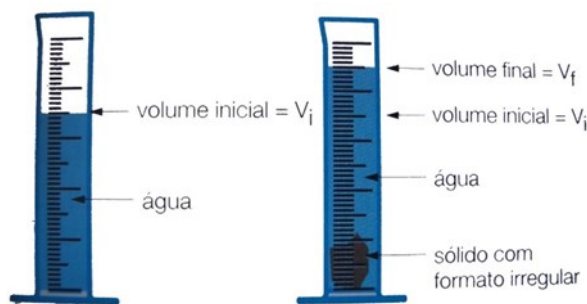


Gráfico 11-3: Método del terrón parafina

Fuente: (Sandoval et al., 2012)

Procedimiento

Caliente la parafina hasta que llegue a su fase líquida. Tome un terrón de suelo indisturbado, hágale un nudo con una piola y pese (Aplicar corrección de acuerdo a la humedad utilizando la regla de 3). Sumergir el terrón en parafina, sacar y dejar enfriar; repetir el procedimiento hasta que el terrón quede totalmente cubierto. Pese de nuevo el terrón de suelo ahora parafinado y tome el dato en su libreta de apuntes. Mida un volumen exacto de agua en una probeta cuidando de no cometer el error de paralaje. Sumerja el terrón en el contenido de la probeta y tome el dato de volumen desplazado. Realice cada medición por triplicado y obtenga el promedio para cada muestra de suelo.

Cálculo

Se aplica la siguiente fórmula

$$Da = \frac{PSS\ 105^{\circ}\ C}{Vd - \frac{PSSP - PSS}{0.9}}$$

Donde:

Da= Densidad aparente

PSS 105° C = Peso del terrón de suelo corregido

Vd= Volumen desplazado

PSSP= Peso del terrón de suelo parafinado

PSS= Peso terrón de suelo sin parafinar

0.9= Densidad de la parafina

Interpretación

Informar los resultados como densidad aparente (Dat). Presentar en valores g / cm³ o, t m⁻³ o de acuerdo al sistema internacional en mg/m³, los cuales son equivalentes, utilizando dos decimales. Como se indicó anteriormente, la densidad aparente determinada por el método del terrón por lo general entrega valores entre 5 a 30% más altos que los obtenidos por el cilindro, siendo mayor la diferencia mientras más arcilla posea el suelo. Finalmente se relaciona con la textura del suelo y sus correspondientes categorías mencionadas en el apartado anterior.

3.5.3 Determinación del pH

3.5.3.1 Método Potenciométrico

Fundamento

El pH es una de las determinaciones basadas en la medida de actividad de hidrogeno ionizado en la solución del suelo, el cual se lleva a cabo con bastante frecuencia por ser el más indicativo de las propiedades químicas del suelo, el valor de pH determinado indica la acidez y la basicidad del suelo, adicionalmente determina la disponibilidad de muchos otros elementos indispensable para el buen desarrollo de las plantas. La acidificación del suelo es un indicador de un exceso de aplicaciones de fertilizantes ricos en nitrógeno, y pérdida de este por lixiviación. (Arbeláez et al., 2021).



Gráfico 12-3: PH140 Medidor para mesa, de pH, mV, mV relativos y temperatura.

Fuente: (CONDUCTRONIC, 2016)

Procedimiento

Se toma una porción representativa del suelo, entre 10 g y 20 g y se deposita en el recipiente de la muestra. Se adiciona un volumen de agua equivalente al peso de la muestra (relación 1:1 (peso/volumen)). Si el suelo genera una solución demasiado pastosa esta puede modificarse empleando relaciones 1:2 a 1:5, según sea el caso. Se agita la

suspensión con el equipo de agitación durante 20 min o intermitentemente durante 1 hora, si la agitación se realiza manualmente. Se mide el pH en la suspensión, inmediatamente después o durante la agitación. Se realiza la lectura cuando el pH cuando sea estable.

Interpretación

Un pH de 0 a 6 indica que una sustancia es ácida, un pH 7 indica que es neutra y un pH de 8 a 14 indica que estamos frente a una sustancia alcalina. El pH da cuenta de la concentración de H^+ (hidrogeniones).



Gráfico 13-3: PH140 Medidor para mesa, de pH, mV, mV relativos y temperatura | Conductronic

Fuente: (Rodríguez et al., 2012).

Se emplea también la siguiente categorización:

Tabla 4-3. Valorización del pH

Valorización	Valores
Fuertemente ácida	4.0 – 4.6
Ácida	4.7 – 5.5
Ligeramente ácida	5.6 – 6.4
Neutro	6.5 – 7.5
Ligeramente alcalino	7.6 – 8.0
Alcalino	8.1 – 10.0
Fuertemente alcalino	10.1 - 14

Fuente: (Paguanquiza, 2012).

Elaborado por: Los autores

3.5.3.2 Método Potenciométrico

Fundamento

La medición de pH con tirillas es una metodología rápida y económica, y es una opción razonable cuando la precisión de las determinaciones requiere una sensibilidad

igual o mayor a 0,5 unidades de pH. Una tira de pH es un trocito de papel tornasol con la que puede pedir el valor de pH de un líquido. El material del papel asegura que la tira reactiva muestra un color diferente cuando los pH tienen distinta acidez. La escala oficial de pH varía de 0 a 14, siendo 0 muy ácido y 14 muy básico. Algunas tiras de pH pueden medir un pH de 0 a 14, pero también hay tiras que solo pueden medir sustancias ácidas o básicas (Barba et al., 2019).

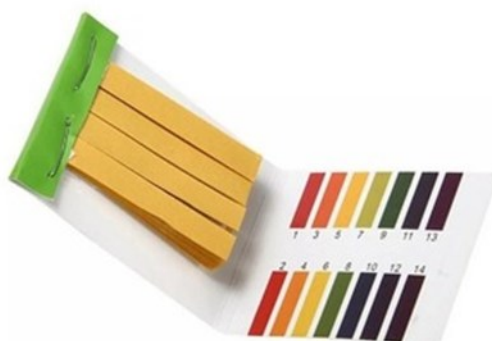


Figura 14-3: Tiras Reactivas de pH.

Fuente: (CIS-LAB, 2015)

Procedimiento

Sumerja la tira de prueba de pH en el líquido durante 2 segundos, luego espere unos 10 segundos. Debido a que la tira con el papel tornasol entra en contacto con una sustancia ácida o básica, la tira se decolora. Cuanto más ácida es la sustancia, más roja se vuelve la tira de pH y cuanto más básica es la sustancia, más azul se vuelve. Puede determinar cuánto de ácido o básico es un líquido en función de los colores que han aparecido en la tira comparándolos con los colores que aparecen en el envase de las tiras. Las tiras de pH son de un único uso.

Interpretación

Para la interpretación algunas tiras de pH solo necesitan dejarse en el líquido de muestra durante aproximadamente un segundo, mientras que otras necesitan aproximadamente 20 segundos para producir una lectura certera. Posteriormente, compare el color de la tira reactiva pH con el cuadro de colores. Cuando encuentre el número asociado con el color en la tira, tendrá su lectura de pH. Los ácidos están representados por colores cálidos, como el rojo y el naranja, mientras que los alcalinos están asociados con colores más fríos, como el azul y el verde.

3.5.4 Materia Orgánica (MO)

3.5.4.1 *Por combustión húmeda por el método de Walkey y Black*

Fundamento

La materia orgánica del suelo es la fracción del suelo que se compone de tejido vegetal o animal en diversas etapas de descomposición. La mayoría de los suelos agrícolas productivos tienen entre el 3 y 6% de materia orgánica (J. C. Gómez, 2013).

Para su determinación por el método la muestra de suelo se trata con un volumen conocido de solución de $K_2Cr_2O_7$, que actúa como oxidante, en un medio fuertemente ácido (H_2SO_4 concentrado) en una proporción estipulada. El calor desprendido por la reacción del H_2SO_4 al diluirse favorece la acción del $K_2Cr_2O_7$ para que se oxide la materia orgánica. El exceso de oxidante se determina titulando con una solución de $FeSO_4$ de normalidad conocida, que actúa como reductor. Cuando el contenido de cloruros del suelo es considerable (p.e: suelos salinos), éstos interfieren la titulación puesto que consumen $K_2Cr_2O_7$. Para evitar esta interferencia se precipitan con anterioridad en forma de $AgCl$ mediante la adición de Ag_2SO_4 al ácido sulfúrico (J. I. Bautista & Arévalo, 2021).



Gráfico 15-3: Coloraciones obtenidas durante titulación.

Fuente: (Guamán, 2018)

Procedimiento

1. Colocar en un Erlenmeyer 0,5 g de suelo seca y tamizado para suelos de apariencia mineral y 0,25g para suelos de apariencia orgánica; agregar 20 ml de $K_2Cr_2O_7$ concentrado, agitar vigorosamente durante un minuto y déjelo reposar por 30 minutos.
2. Agregue 200 ml de agua, 5 ml de H_2PO_4 y 3 gotas del indicador difenilamina.
3. Titule con solución de sulfato ferroso 1N, hasta que la solución vire de color azul pardusco a verde brillante.
4. Si el volumen del sulfato ferroso equivale al 75% del dicromato reducido, repetir la titulación pesando menor cantidad de suelo.

Cálculo

Se determina el carbono orgánico de la siguiente ecuación

$$\% C \text{ orgánico} = \frac{(B - N) * N * 0,003 * 1,3 * 100}{pm}$$

Donde:

B= Volumen de solución ferrosa gastada en el blanco

M= Volumen de solución ferrosa gastada en la muestra

N= Normalidad de la solución ferrosa

0,003= Peso en gramos de un miliequivalente de Carbono

1,3= 100/77 factor de eficiencia de oxidación del Carbono

Pm= peso de la muestra

Posteriormente se aplica la fórmula para determinar la materia orgánica

$$\% M. O. = C. \text{orgánico} (\%) \times 1,724$$

Interpretación

A través del porcentaje de materia orgánica se categoriza mediante la siguiente tabla:

Tabla 5-3. Valorización del porcentaje de materia orgánica

Clase	Porcentaje (%)
Muy pobre	< 1
Medianamente pobre	1 - 2
Pobre	3 - 6
Medianamente rico	6-10
Rico	10 -15
Suelo rico	> 15

Fuente: (Paguanquiza, 2012).

Elaborado por: Los autores

3.5.5 Determinación del Fósforo (P)

3.5.5.1 Método de Bray – Kurtz

Fundamento

En 1945, Bray y Kurtz proponen un método rápido para estimar las formas de fósforo disponible para las plantas. El método conocido como Bray 1 se trata de una extracción con una solución mezcla de NH₄F 0,03N y HCl 0,025N, que se basa en el efecto solubilizador del H⁺ sobre el P del suelo y la capacidad del ión F⁻ de bajar la actividad del Al³⁺, evitando la readsorción de los fosfatos en el sistema de extracción

(Soil and Plant Analysis Council, 1992; Kuo, 1996). Ellos plantearon trabajar con 1 gramo de suelo y 7 ml de solución extractiva, agitando vigorosamente por un minuto, para luego determinar el P en el extracto (Boschetti et al., 2003).

Procedimiento

Elaboración de reactivos

- Solución extractora de Fluoruro de Amonio. Pesar 1,1 g de NH_4F , disolver en 300 ml de agua y luego adicionar 2,1 mL de HCl concentrado y aforar a 1000 mL.
- Molibdato de Amonio (Reactivo I).- Disuélvanse 12,5 g de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 100 mL de agua destilada. Aparte, agregar cuidadosamente 140 mL de H_2SO_4 concentrado a 200 mL de agua destilada, enfriar y adicionar la solución de molibdato y dilúyase a 500 mL.
- Cloruro de Estaño (Reactivo II).- Disuelva 1,25 g de $\text{SnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ fresco en 50 mL de glicerol, caliente en un baño de agua y agite con varilla de vidrio para apresurar la disolución (es un reactivo estable).
- Solución patrón de 100 ppm de P. Disolver 0.4394 g de KH_2PO_4 , seco en agua destilada y aforar a 100 mL.
- Solución patrón de 2 ppm P. Diluir 2 mL de solución de 100 ppm a 100 mL con agua destilada.
- Agua destilada.

Tratamiento previo

- Secar la muestra de suelo o sedimento a temperatura ambiente por lo menos durante 24 h. Es posible también acelerar el secado, llevando a estufa a 80°C por al menos 3 h.
- Una vez seca la muestra, moler en mortero, tamizar por malla 200 y cuartear.
- Todo el material de vidrio debe lavarse con HCL 6 N antes de usarlo.

Análisis del a muestra

1. Pesar 1,5 g de muestra de suelo previamente molida y tamizada.
2. Añadir 0,5 g de carbón activado exento de fósforo, si no se dispone de este reactivo, filtrar a través de papel Whatman No. 42.

3. Adicionar 15 ml de Fluoruro de amonio.
4. Agitar exactamente 1 minuto y filtrar en tubos de vidrio.
5. Del filtrado tomar alícuota de 5 mL y colocar en matraz aforado de 50 mL
6. Añadir agua destilada, mezclar.
7. Añadir 4 mL de molibdato de amonio (reactivo I), seguido de agua destilada y mezclar.
8. Adicionar 0.5 mL de cloruro estannoso en glicerol (reactivo II) y aforar.
9. Al cabo de 10 minutos, pero antes de los 12 usando el mismo intervalo específico de tiempo para todas las determinaciones se mide el color a 640 nm.
10. Preparar la siguiente curva de calibración a partir de la solución patrón de 2 ppm de P, aforando en matraces de 50 ml con agua destilada.

Cálculo

Calcular el contenido de fósforo asimilable empleando la siguiente relación:

$$P \text{ en suelo } \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{ppm \text{ en solución} * V_f * V_i}{A \times B}$$

Donde:

ppm (solución) = obtenida de la curva de calibración.

Vf = Volumen final de la colorimetría.

Vi = Volumen del extracto. **A** = Alícuota usada en la colorimetría.

P = Peso de la muestra.

Interpretación

Se muestran valores de fósforo que determinan la calidad de un suelo.

Tabla 6-3: Criterios para determinar la calidad de un suelo en función a su contenido de fósforo.

Categoría	Valor (mg kg ⁻¹)
Bajo	< 5.5
Medio	5.5 -11
Alto	> 11

Fuente: (A. García, 2011)

Elaborado por: Los autores

3.5.5.2 Método de Olsen

Fundamento

Se utiliza como extractante una disolución de NaHCO_3 0.5 M moderadamente alcalina ($\text{pH} = 8,5$) ideada para controlar la actividad de los iones calcio, a través del producto de solubilidad del CaCO_3 durante la extracción de fósforo en suelos calcáreos. Este reactivo extrae también algo de fosfato proveniente de la superficie de los fosfatos de hierro y aluminio, más abundantes en suelos neutros y ácidos, siendo por ello también un buen extractante para un amplio rango de valores de pH del suelo.

Procedimiento

Elaboración de reactivos

Extractante: Solución extractora de Olsen (NaHCO_3 0,5 M, pH 8,5): Disolver 420 g de bicarbonato de sodio en agua destilada y completar a un volumen final de 10 L. Ajustar el pH de la solución a un valor de 8,5 añadiendo hidróxido de sodio al 50%.

Análisis del a muestra

1. Pese 1 g de suelo y transféralo a un matraz Erlenmeyer de 50 ml.
2. Añada 20 ml de solución extractora de Olsen a cada matraz y agite a 200 o más r.p.m. durante 30 minutos a una temperatura ambiente menor a $24^\circ - 27^\circ \text{C}$.
3. Si es necesario, para obtener un filtrado incoloro, agregue 1 cm^3 (aprox. 200 mg) de carbón vegetal a cada matraz.
4. Pasar los extractos por un papel de filtro Whatman N° 42. Filtrar de nuevo, si los extractos no son claros.
5. Analizar el P disponible en el blanco y los patrones realizados con la solución Olsen por Colorimetría.

Cálculos

$$P \text{ extractable } \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = (C_{\text{Olsen}}) * \left(\frac{0.020 \text{ L extracto}}{0.001 \text{ kg de suelo}} \right)$$

Donde:

C_{Olsen} = Concentración de P en extracto Olsen (mg/L)

Interpretación

Se establece categorías de disponibilidad de P corresponden a rangos expresados en partes por millón (ppm) o miligramos por kilogramo (mg/kg). Para Olsen un valor de 10 mg/kg se considera generalmente óptimo para el crecimiento vegetal.

Tabla 7-3: Criterios para determinar la calidad de un suelo en función a su contenido de fósforo.

Categoría	Rango (mg/kg)
Muy Bajo	< 5.5
Bajo	5.1-10
Medio	10.1-20
Suficiente	20.1-30
Alto	> 30

Fuente: (Fernández et al., 2006)

Elaborado por: Los autores

3.5.6 Determinación de Nitrógeno Total (N)

3.5.6.1 Método de digestión húmeda

Fundamento

El método de digestión húmeda que emplea el principio Kjeldahl (Bremner, 1996) es ampliamente adoptado para la determinación de N total en suelo. El mismo implica la conversión de N orgánico a N amoniacal por digestión de la muestra de suelo con ácido sulfúrico en presencia de catalizador. Posteriormente se realiza la determinación de amonio en el digesto por transformación del amoníaco (gaseoso), destilación y recolección del destilado en ácido bórico. Por último, se titula el borato generado con una solución de ácido valorado, se caracteriza por el uso de ebullición, ácido sulfúrico concentrado que efectúa la destrucción oxidativa de la materia orgánica de la muestra y la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco el amonio es retenido como bisulfato de amonio y puede ser determinado in situ o por destilación alcalina y titulación. (Azcárate et al., 2017).

Por lo tanto, consta de tres principales etapas: Digestión (La descomposición de nitrógeno en muestras orgánicas usando una solución ácida concentrada. Esto se logra hirviendo una muestra homogénea en ácido sulfúrico concentrado. El resultado final es una sal de sulfato de amonio.), Destilación (Adición de una base a la mezcla de digestión ácida para convertir NH_4^+ en NH_3 , seguido de ebullición y condensación de amoníaco NH_3 gaseoso en una solución receptora) y Titulación (Cuantifique la cantidad de

amoníaco en la solución receptora. La cantidad de nitrógeno en una muestra se puede calcular a partir de la cantidad cuantificada de iones amoniaco en la solución receptora).

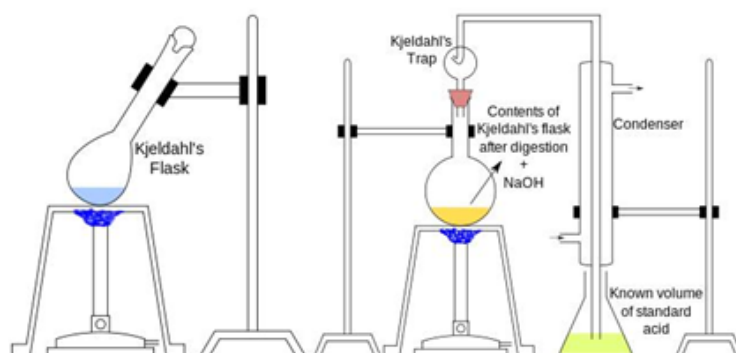


Gráfico 16-3: Método Kjeldahl, Análisis de Nitrógeno Kjeldahl

Fuente: (Salazar, 2016)

Procedimiento

Etapas de Digestión de la muestra

Esta etapa de digestión ocurre en presencia de sustancias catalizadoras para convertir el nitrógeno del suelo a nitrógeno amoniacal.

1. Pese entre 0,1 g y 0,5 g de muestra seca de suelo a 40 °C.

Nota: Desde 0,1 g para muestras predominantemente orgánicas y hasta 0,5 g para muestras predominantemente minerales.

- Coloque la muestra en el tubo de Kjeldahl usado para la digestión.
- Agregue 0,2 g de la mezcla catalizadora de Kjeldahl y 3 ml de ácido sulfúrico al 98%.
- Realice la digestión de la muestra calentándola gradualmente hasta 400 °C por 2 horas.
- Enfríe el recipiente de digestión hasta una temperatura aproximada de 60 °C.

Etapas de destilación de la muestra

- Configure el equipo de destilación para que adicione a la muestra 20 ml de agua y cuidadosamente 20 ml de solución de Hidróxido de Sodio al 40 %.
- Inicie la destilación, recibiendo el destilado dentro de la solución receptora de ácido bórico al 4 % o en la solución de ácido bórico que contiene

indicador mixto, hasta que hayan destilado mínimo 100 ml y el destilado obtenido tenga pH neutro.

- Nota: La solución receptora de ácido bórico debe permanecer por debajo de los 45 °C para prevenir la pérdida de amonio.
- Etapa de titulación de la muestra
- Titule el destilado con una solución valorada de HCl o H₂SO₄ 0,01 N a 0,2 N, hasta que el indicador vire a rojo.

Nota: Se lleva u blanco con los reactivos, el cual se somete al mismo proceso de la muestra.

Cálculo

El contenido de nitrógeno total se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$\%N = \frac{1,4 * (A - B) * N}{M}$$

Donde:

A = Volumen de solución titulante usado en la muestra, en mililitros.

B = Volumen de solución titulante usado en el blanco, en mililitros.

N= Normalidad de la solución titulante de ácido sulfúrico o clorhídrico.

M = Peso de la muestra en gramos.

1,4 = Peso miliequivalente del nitrógeno por 100

Interpretación

Se procede hacer la caracterización de suelos según los macronutrientes evaluados.

Tabla 8-3. Clasificación de suelos según el contenido de nitrógeno total.

Nitrógeno (%)	Categoría
< 0,032	Extremadamente pobre
0,032-0,063	Pobre
0,064-0,095	Medianamente pobre
0,096-0,126	Medio
0,127-0,158	Medianamente rico

0,159-0,221	Rico
>0,221	Extremadamente rico

Fuente: (Besteiro & Descalzo, 2021)

Elaborado por: Los autores

CAPÍTULO 4

4 INDICES DE CALIDAD DEL SUELO

4.1 ¿Qué es un índice de calidad del suelo?

Un ICS es el que logran tener una visión de la condición en la que se encuentra el suelo, donde los cambios que han ocurrido en este, se determinaran mediante el análisis que logran simplificar, cuantificar las propiedades físicas, químicas y biológicas que tiene el suelo y los fenómenos o procesos que han ocurrido en el por su uso (Barrera et al., 2020).

4.2 Tipos de índices de Calidad del Suelo

4.2.1 Índice de la Calidad del Suelo SQI

Según (V., J., A., & J.M., 2022) Es un valor numérico, comprendido entre 0 y 1 (también podría expresarse en porcentaje, entre 0 y 100%), que valora la calidad de un determinado suelo i para cumplir sus funciones en el ecosistema, en este índice se utiliza en índices sencillos donde sólo tienen en cuenta un indicador (índices simples). Por ejemplo, un índice basado exclusivamente en contenido de carbono orgánico (% C.O), para el suelo i , se construiría transformando mediante una función adecuada f dicho contenido a un valor entre 0 y 1.

$$SQI_i = qC.O_i = f(\%C.O_i)$$

Pero para que la calidad del suelo pueda tener una validez significativa es necesario que sean evaluados más de un indicador. Cuando el índice tiene varios indicadores este incluye la suma de múltiples indicadores de la calidad. El caso más simple es la suma (adición) de varios de estos indicadores (j -indicadores), previamente transformados mediante funciones scoring adecuadas.

$$SQI_i = qC.O_{i1} + qDATE_{i2} + \dots + qICS_{ij}$$

Una cuestión que surge a la hora de construir SQI multiparamétricos es si todos los ICS tienen la misma importancia a la hora de ser valorados, lo que se conoce como el problema de la ponderación. Esto puede llevarnos, incluso, a desechar algunos indicadores que no son fiables o no nos convencen (en base a nuestra experiencia) para valorar la calidad del suelo.

En el ejemplo anterior, suponiendo que queramos evaluar la calidad del suelo en función exclusiva del %C.O y la DATF, podríamos concluir que el primero es el doble de importante que el segundo. En este caso, habríamos de realizar una suma ponderada por un *factor de ponderación del indicador j* $wICS_j$ cada uno de los indicadores (en nuestro caso, $wCO = 1$ y $wDAFT = 0.5$) incluidos en el SQI:

$$SQI_{ij} = wCO_1 * qCO_{i1} + wDATE_2 * qDATE_{i2}$$

O, en el caso general de j -indicadores:

$$SQI_{ij} = wICS_1 * qICS_{i1} + wICS_2 * qICS_{i2} + \dots + wICS_j * qICS_{ij}$$

Valores que luego debemos convertir (*normalizar*) de nuevo a un rango entre 0 y 1, mediante la función:

$$SQI'_i = 0,1 + \left(\frac{SQI_i - SQI_{min}}{SQI_{max} - SQI_{min}} \right)$$

Siendo SQI_{max} y SQI_{min} , los índices máximos y mínimos, respectivamente, del total de suelos de la zona que estamos estudiando.

Las propiedades analíticas que se pueden valorar en nuestro índice son: carbono orgánico (%CO), densidad aparente de tierra fina (DATF), granulometría (%grava, %limo, %arena, %arcilla), pH, conductividad eléctrica (CE_{25}), caliza total (% $CaCO_{3equiv.}$), caliza activa y Nitrógeno total (%N total). La única variable que no se estima directamente en prácticas es el % de Humedad a Capacidad de Campo -33 kPa- (%W33). Este indicador puede ser rellenado a partir de los datos previos.

Resumiendo lo expuesto hasta el momento, en la confección de un índice para la calidad del suelo se han de tener en cuenta dos pasos:

Scoring: que consiste en la transformación de los valores de los indicadores a un valor estandarizado (entre 0 y 1), según ciertas funciones.

Ponderación: que consiste en asignar, mediante un coeficiente (entre 0 y 1), un peso relativo a cada indicador en el cálculo del índice. En el caso de que el factor sea cero, el indicador se desecha para el cálculo del índice.

Ejemplo:

Al evaluar una finca productora de pitahaya se obtienen los siguientes resultados: Materia Orgánica (%M.O) = 4,93%, densidad aparente de tierra fina (DATF) = $1,35 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, granulometría (%limo, %arena, %arcilla) = 52%, 39%, 9%,

pH= 5,86 y conductividad eléctrica (CE) = 0,11. Determine de acuerdo a estos indicadores en *SQL*

DATOS:

Indicador	Valor del Indicador
Materia Orgánica (%M.O)	4,93
densidad aparente de tierra fina (DATF)	1,35 g*cm ⁻³
granulometría (%limo, %arena, %arcilla)	52%, 39%, 9%
pH	5,86
Conductividad eléctrica (CE)	0,11

Resolución:

1. Se ordenará los datos de acuerdo con la importancia del indicador y se agregará la ponderación.

Indicador	Valor del Indicador	IMPORTANCIA
Materia Orgánica (%M.O)	4,93	1
pH	5,86	0,5
Conductividad eléctrica (CE)	0,11	0,33
densidad aparente de tierra fina (DATF)	1,35 g*cm ⁻³	0,25
granulometría (%limo)	52%	0,2

2. Como se tiene más de dos indicadores aplicaremos nuestra fórmula

$$SQL_{ij} = wICS_1 * qICS_{i1} + wICS_2 * qICS_{i2} + \dots + wICS_j * qICS_{ij}$$

$$SQL_{ij} = 4,93 * 1 + 5,86 * 0,5 + 0,11 * 0,33 + 1,35 * 0,25 + 52 * 0,2$$

$$SQL_{ij} = 4,93 + 2,93 + 0,036 + 0,3375 + 10,4$$

$$SQL_{ij} = 4,93 + 2,93 + 0,036 + 0,3375 + 10,4$$

$$SQI_{ij} = 18,6335$$

Sin embargo (Martínez-Rodríguez et al., 2021), nos plantea otra descripción de como calcular el índice.

Para ello se realizó el análisis de componentes principales (ACP) y se seleccionaron aquellos que obtuvieron eigenvalores >1 , considerando que los componentes con elevados eigenvalores, son aquellos que representan mejor los atributos del sistema estudiado (Parra y Rodríguez, 2017). En cada componente se extrajeron las propiedades que presentaron un peso $\geq 10\%$ del eigenvalor del respectivo componente (Anaya y Jaramillo, 2017). Los indicadores seleccionados se sometieron a un análisis de correlación de Pearson's, en aquellos que mantuvieron alta correlación entre sí, se descartó el de menor peso para evitar redundancia de indicadores al conformar el CMD (un coeficiente mayor a 0.70; correlación del 70%) (Anaya y Jaramillo, 2017). Con el mismo objetivo, se descartaron los indicadores del porcentaje de arena, limo y arcilla, se seleccionó la Da en su lugar, el contenido de CO se sustituyó por la MO y el sodio por el PSI. Posteriormente, los valores de cada indicador seleccionado se estandarizaron entre 0.1-1.0, donde 1 representa el valor óptimo para el indicador. Se utilizó la ecuación (1) de acuerdo al criterio si más alto es mejor para pH, MO, N, P, K, CIC, Ca y Mg, y la ecuación (2) si menos es mejor para CEs, Da y PSI (Li et al., 2013). La comunalidad de cada indicador se extrajo del ACP, donde, el peso o importancia del indicador se determinó por medio

4.2.2 Índice Integrado de Fertilidad

El índice de fertilidad integrado (IFI) para evaluar la fertilidad del suelo y se lo determina por la siguiente fórmula.

$$IFI = \sum_i^n f_i * a_i$$

donde f_i representa el valor de membresía de los índices participantes, a_i es el peso de los índices participantes y n es el número de índices. Los índices de evaluación de la fertilidad del suelo se seleccionaron de acuerdo a la situación real del área de estudio.

Ejemplo:

1. Se posee un suelo productor de naranjilla a partir de los siguientes datos brindados por el laboratorio tras realizarse un monitoreo anual se desea evaluar la fertilidad del suelo.

DATOS:

Tabla 1-4. Datos generales

Indicador	Valor del Indicador
NH₄	83,9 ppm
P	18.3 ppm
Zn	33,30 ppm
Fe	100,20 ppm
Mn	7,26 ppm
pH	5,86

Fuente: Los autores

1. Representación del valor de membresía

Tabla 2-4. Representación del valor de membresía

Indicador	Valor del Indicador	Valor de Membresía
NH₄	83,9 ppm	0,16
P	18.3 ppm	0,2
Zn	33,30 ppm	0,25
Fe	100,20 ppm	0,33
Mn	7,26 ppm	0,5
pH	5,86	1

Fuente: Los autores

2. Aplicación de la fórmula

$$IFI = \sum_i^n f_i * a_i$$

$$IFI = 83,9 * 0,16 + 18,3 * 0,2 + 33,30 * 0,25 + 304,20 * 0,33 + 7,26 * 0,5 + 5,86 * 1$$

$$IFI = 13,42 + 3,66 + 7,33 + 33,07 + 3,63 + 5,86$$

$$IFI = 66,97$$

Posee una fertilidad del 66,97 % lo cual se puede deducir que es un suelo en óptimas condiciones.

4.2.3 Índice de Riesgo Ecológico Potencial

El método de evaluación del índice de riesgo ecológico potencial propuesto por Hakanson no solo considera el contenido de metales pesados, sino que también considera integralmente el efecto sinérgico de varios elementos, el nivel de toxicidad y la sensibilidad ambiental a la contaminación por metales pesados, etc. Por lo tanto, es ampliamente utilizado para evaluar el riesgo ecológico potencial en el ambiente del suelo, y su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_T^i = \sum_{i=1}^n (T_r^i * \frac{C_i}{C_n^i})$$

Donde RI representa el índice de riesgo ecológico potencial total para todos los metales pesados, E_T^i es el índice de riesgo ecológico potencial de factor único del metal pesado i. T_r^i es el coeficiente de toxicidad del metal pesado i, C_i representa el contenido de metal pesado i en el suelo (mg/kg), y C_n^i es el valor de fondo del metal pesado i.

El Índice de Riesgo Ecológico Potencial (IREP) es utilizado para evaluar el nivel de contaminación con metales pesados en muestras de sedimentos de acuerdo con su toxicidad y a la reacción del ambiente frente a la polución. Para determinarlos se calcula primero el Coeficiente del Riesgo Ecológico Potencial (CREP) de cada metal, usando los Coeficientes de Toxicidad de Hakanson (CTH) que son 40 para el mercurio y 5 para el plomo (Hakanson, 1980).

4.2.4 Índice de Calidad del Suelo Morfológico (FSQI)

Una vez que podemos tratar los indicadores morfológicos como numéricos (disponiendo de funciones *scoring* adecuadas), y que disponemos de los *factores de ponderación morfológicos* ($wICSM_j$) el cálculo del índice de calidad del suelo morfológico (FSQI) es fácil.

$$FSQI = wICSM_1 * qICSM_{i1} + wICSM_2 * qICSM_{i2} + \dots + wICSM_j * qICSM_{ij}$$

Sin olvidar normalizar los datos de nuevo (pasarlos a valores entre 0 y 1) con la función:

$$FSQI'_i = 0,1 + (\frac{FSQI_i - FSQI_{min}}{FSQI_{max} - FSQI_{min}})$$

Siendo $FSQI_{max} = 3.413$ y $FSQI_{min} = 1.509$, correspondientes respectivamente al suelo menos degradado (quejigar sin alteración humana) y más degradado (suelo de olivar altamente erosionado) que contiene la base de datos actualizada de los suelos de la

Provincia de Jaén. Los factores de ponderación morfológicos (las cargas factoriales del modelo CatPCA) se indican en la siguiente tabla:

Tabla 3-4. Factores de ponderación morfológicos

ICSM	CARGA FACTORIAL	%VARIANZA
Posición fisiográfica	0,077	0,350
Forma terreno circundante	0,407	1,850
Pendiente	0,190	0,864
Material de partida	0,316	1,436
Textura	0,237	1,077
Hue húmedo	0,378	1,718
Value húmedo	0,775	3,523
Croma húmedo	0,004	0,018
Hue seco	0,390	1,773
Value seco	0,687	3,123
Croma seco	0,104	0,473
Estructura clase	0,046	0,209
Estructura grado	0,001	0,005
Consistencia seca	0,217	0,986
Consistencia húmeda	0,144	0,655
Plasticidad	0,110	0,500
Adhesividad	0,104	0,473
Abundancia poros	0,123	0,559
Tamaño poros	0,120	0,545
Abundancia raíces	0,216	0,982
Tamaño raíces	0,126	0,573
Estructura tipo	0,234	1,064

	Σ 23%
--	--------------------------------

Fuente: (UJA, 2022)

Elaborado por: Los autores

El cálculo de ICSM nos permite realizar una estimación de la calidad del suelo en campo, sin necesidad de realizar ningún tipo de analítica. Se convierte así en una herramienta directamente aplicable para el agricultor.

BIBLIOGRAFÍA

- Alamy Limited. (2020). *Una fila de plántulas de varias hojas mixtas de ensalada en suelo de jardín pedregoso Fotografía de stock—Alamy*. <https://www.alamy.es/una-fila-de-plantulas-de-varias-hojas-mixtas-de-ensalada-en-suelo-de-jardin-pedregoso-image355281372.html>
- Aldas, J. (2016). La Contaminación del Suelo. En *La contaminacion del suelo* (p. 28).
- Anadón, R. (2021). *Características, Origen y Tipos de Suelo*. Universidad de Oviedo. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/edafologia/suelos-lec-6/24115439>
- Analab. (2019). *Protocolo extracción de muestras de suelos*.
- Andrade, C. (2012). Diagnóstico técnico. indicadores ambientales. *Municipio de Carmona*, 431-440.
- Andrades, M., Moliner, A., & Masaguer, A. (2015). Prácticas de edafología: Métodos didácticos para análisis de suelos. *Material didáctico. Agricultura y alimentación*, 15(7), 57.
- Arbeláez, E. E., Suárez, E. A., & Ramos, C. G. (2021). *Manual de prácticas de laboratorio de tratamiento y gestión del suelo*. <https://hdl.handle.net/11323/7478>
- Azcárate, P., Boglioni, M., Brambilla, C., Brambilla, E., Romina, F., Kloster, N., Noellemeyer, E., Ostinelli, M., Pérez, M., Quiroga, A., & Savio, M. (2017). Métodos de análisis e implementación de Calidad en el Laboratorio de Suelos. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*.
- Badía, D., Ortiz, O., & Martí, C. (2017). «Experimentos didácticos con el suelo para la educación pre-universitaria», *Libro de la Semana en la biblioteca de la Escuela Politécnica Superior* (Escuela Politécnica Superior de Huesca). http://www.unizar.es/actualidad/vernoticia_ng.php?id=51842&idh=
- Ballesta, R., & González, V. (2006). La calidad de suelos como medida para su conservación. *Edafología*, 13(3), 125-138.
- Barba, L. F., Muñoz, M. H., Díaz, G. A., Mora, P. G. de la, Ramírez, S. A., & José Rafael. (2019). Determinación de pH por colorimetría en muestras pequeñas de lágrima. Método simple para medición en enfermedades oftalmológicas de la superficie ocular anterior. *Investigación y Ciencia*, 27(76), 41-48. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67458162005>

- Barrera, Jenner., Barrezueta, Salomón., & García, Rigoberto. (2020). Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas.*, 3(1), 182-190. <https://doi.org/ISSN: 2631-2662>
- Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La Calida del Suelo y sus Indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2004.13-2>
- Bautista, J. I., & Arévalo, J. J. (2021). Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación. *Ingeniería y Región*, 26, 20-28. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8159796>
- Besteiro, S. I., & Descalzo, A. I. B. (2021). Contenidos de nitrógeno y fósforo del suelo ante un cambio de cobertura y condición topográfica. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 47(2), 285-292. <https://www.redalyc.org/journal/864/86469002015/html/>
- Bonifácio, C. M., Nóbrega, M. T. de, & Silveira, H. (2011). Análisis Granulometrico De Un Sistema Pedologico En El Municipio De Tamboara–Pr, Brasil: Comparación De Dos Técnicas Para La Determinación. *Revista Geográfica de América Central*, 2, 1-19. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=451744820597>
- Boschetti, G., Quintero, C., Dias-Zorita, M., & Barraco, M. (2003). Determinación del fósforo disponible en el suelo por el método de Bray. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 17.
- Bravo, C., Torres, B., Alemán, R., Marín, H., Durazno, G., Navarrete, H., Gutiérrez, E., & Tapia, A. (2017). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 37(2), 247-264. <https://doi.org/10.5209/AGUC.57725>
- Burt, R. (2004). Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Laboratory Investigations Report No. 42. *USDA-NRCS, National Soil Survey Center*, 4(42).
- Cabrera, G. (2014). Manual Práctico sobre la Macrofauna Edáfica como Indicador Biológico de la Calidad del Suelo, según resultados en Cuba. En *Fundación Rufford RSGF, para La Conservación de La Naturaleza*.
- Carrillo, B. E. (2016). *Comprobación de la eficacia del proceso de remediación del suelo en el barrio Puente Azul en donde se han desarrollado actividades de extracción aurífera, cantón Zamora* [BachelorThesis]. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/13987>

- CIS-LAB. (2015). Tiras Reactivas de PH - Productos Cis-Lab. *Centro Integral de Servicio para Laboratorio*. <https://www.cislab.mx/p/tiras-reactivas/>
- CONDUCTRONIC. (2016). *PH140 Medidor para mesa, de pH, mV, mV relativos y temperatura* | Conductronic. <https://www.conductronic.com/producto/ph140/>
- Davidson, D. (2014). Evaluating the quality of your SOIL. *Crops & Soils*, 47(2), 4-13. <https://doi.org/10.2134/cs2014-47-2-1>
- Domínguez Soto, J. M., Román Gutiérrez, A. D., Prieto García, F., & Acevedo Sandoval, O. (2012). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(1), 141-155. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i1.1489>
- Estrada, R., Hidalgo, C., Guzmán, R., Almaraz, J. J., Navarro, H., & Etchevers, J. D. (2017). Soil quality indicators to evaluate soil fertility. *Agrociencia*, 51(8), 813-831.
- Fadda, G. (2017). Morfología del Suelo. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 15.
- FAO. (2015). *Texturas del suelo*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm
- FAO. (2020). *Suelos Arenosos* | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-arenosos/es/>
- FAO, GTIS, & Universidad de Adelaia. (2019). La Contaminación Del Suelo: Una Realidad Oculta. En *Organizacion de las Naciones Unidas para la alimentacion y la agricultura FAO*.
- Fernández, L. C., Rojas, N. G., Roldán, T. G., & Ramírez, M. E. (Eds.). (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- Ferreras, L., Toresani, S., Bonel, B., Fernández, E., Bacigaluppo, S., Faggioli, V., & Beltrán, C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del suelo*, 27(1), 103-114. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1850-20672009000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- García, A. (2011). Manual de Prácticas de la Materia de Edafología. Adán Cano García. *Gobierno del Estado de Chiapas*. <https://docer.com.ar/doc/s5nccx5>
- García, L. (2017). Metodología de campo para determinar la profundidad, la densidad aparente, materia orgánica e infiltración del agua en el suelo. *Unión Europea y UNAG - Nicaragua*, 1(32), 18.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), 125-137.
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-137.
- Garrido, Ma. S. (1994). Interpretación y Análisis de Suelos. En *INSTITUTO NACIONAL DE REFORMA Y DESARROLLO AGRARIO* (pp. 1-40). <https://doi.org/10.14350/rig.58865>
- Gimenez, R. (2013). *Física del Suelo* (p. 16).
- GLOBE. (2005). Un vistazo a la investigación de suelos. *Global Learning and Observation to Benefit the Environment Program*. Estados Unidos, 1-279.
- Gómez, A., & Hoyos, W. (2020). Evaluación de la Calidad de un Suelo Sometido a Diferentes Usos. En *UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS*. Universidad de los Llanos.
- Gómez, J. C. (2013). *Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos*. <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/2785>
- González, R. (2013). *Evaluación de la calidad del suelo para diferentes usos y cubiertas vegetales en la ladera Este de Cerro Grande, comunidad Dexcani Alto, municipio de Jilotepec*. <https://doi.org/10.1190/segam2013-0137.1>
- Guamán, C. A. (2018). *Validación del método para determinar materia orgánica en el suelo por la técnica de Walkley and Black* [Bachelor Thesis]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31352>
- Hernández, J. (2018, mayo 15). *Utilización de la Pipeta de Robinson para el análisis textural en suelos de la Provincia de Entre Ríos*.
- INEGI. (2015). *Guía para la interpretación de la cartografía Edafología Escala 1: 250 000* (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825076221.pdf

- Instituto Nacional de Investigacion Agropecuaria. (2015). INIA. 2015, 1-10.
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/147701>
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). Mecánica de Suelos. En *Mecánica de suelos, Tomo II: Fundamentos de la Mecánica de Suelos* (pp. 1-629).
- Kenogard. (2013). Banners archivos. Kenogard. https://kenogard.es/divisi_n_de_contenidos/banners/
- Klute, E. A. (1986). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*.
- Llitjós-Viza, A., & Molera-Marimón, J. (1995). Estudio de cuatro adaptaciones escolares de método de observación y determinación de la textura del suelo. *Enseñanza de las ciencias de la tierra: Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(1), 35-39.
- López, M. (2009). *Guía técnica para estudio de diagnóstico ambiental*.
- López, R. (2002). Degradación del suelo: Causas, procesos, evaluación e investigación. En *Centro interamericano de desarrollo e investigacion ambiental y territorial universidad de los andes*.
- Lozano Rivas, W. A. (2018). Suelos. *Suelos*. <https://doi.org/10.2307/j.ctv8j5r0>
- Maldonado, A. D. (2016). *Evaluación de diferentes dosis de hexametáfosfato de sodio (NaPO₃) 6, en la determinación de tres tipos texturales de suelo, mediante el método de bouyoucos*. [Bachelor Thesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8135>
- Marimón, J. M., & Viza, A. L. (1995). Estudio de cuatro adaptaciones escolares de método de observación y determinación de la textura del suelo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3(1), Art. 1. <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/89229>
- Martínez-Rodríguez, Ó. G., Can-Chulim, Á., Ortega-Escobar, H. M., Bojórquez-Serrano, J. I., Cruz-Crespo, E., García-Paredes, J. D., & Madueño-Molina, A. (2021). Fertilidad e índice de calidad del suelo de la cuenca del río San Pedro en Nayarit Fertility and soil quality index of the San Pedro River basin in Nayarit. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-13.
- Mendoza, L., & Iannacone, J. (2021). Evaluación ecotóxica de suelos contaminados con residuos municipales de un botadero en Eisenia fétida. *Ciencia del suelo*, 39(2),

- 157-166. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1850-20672021000200157&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para muestreo de suelos. *Universidad Nacional Agraria*, 1-56.
- MGAP, & RENARE. (2016). *Nuestro suelo Patrimonio nacional*. 1-19.
- Ministerio de Energía y Minas. (2000). Guía Para El Muestreo Y Análisis De Suelo. *Dirección General de Asuntos Ambientale*, 21.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para el muestreo de suelos*.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía para Muestreo de Suelos*. Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2702-guia-para-muestreo-de-suelos>
- Morales, J. (2018). Producción cerámica en el suroeste del Bajío. *Revista Trace*, 25. <https://doi.org/10.22134/trace.59.2011.318>
- Morales, M., & César, C. (2011). *Edafología* 1. <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/producto.php?producto=4776>
- Navarrete, A., Vela, G., López, J., & Rodríguez, Ma. D. L. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS*, 80, 29-37.
- Navas, M. J., Rey, J. C., & Rodríguez, T. (2003). Superficie de muestreo y número de submuestras para evaluar la fertilidad en suelos cultivados con *brachiaria brizantha* en las mesas orientales de anzoátegui, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 53(3), 295-315. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0002-192X2003000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Norambuena, P., Luzio, W., & Vera, W. (2002). Comparación entre los métodos de la pipeta y bouyoucos y su relación con la retención de agua en ocho suelos de la zona altiplánica de la provincia de parinacota, chile. *Agricultura Técnica*, 62(1), 150-157. <https://doi.org/10.4067/S0365-28072002000100015>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT. (2002). *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69255.pdf>
- Núñez, M., Hernández, A., & Charbonet, M. E. (2016). Las aplicaciones de las técnicas nucleares en la agronomía, como contribución a la formación integral del

- ingeniero agrónomo. *Nucleus*, 59, 3-7.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-084X2016000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Ochoa, V., Hinojosa, B., Gómez, B., & García, R. (2010). Actividades enzimáticas como indicadores de calidad del suelo en agroecosistemas ecológicos. *Iniciación a la Investigación*, 2.
- Orozco, D. D. J., Flores, J. C. M., & Sanabria, Y. R. (2015). Indicadores químicos de calidad de suelos en sistemas productivos del Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Acta Agronomica*, 64(4), 302-307.
<https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.38731>
- Paguanquiza, E. (2012). *Elaboración de una Línea base para determinar el crecimiento y desarrollo de las plantaciones de Pinus Pátula y Pinus Radiata en la Hacienda San Joaquín de Aglomerados Cotopaxi s.a (ACOSA)* [Bachelor Thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2214>
- Pascual, R., & Venegas, S. (2014). La materia orgánica del suelo. Papel de los microorganismos. *Ciencias Ambientales*, 1-11.
- Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., Montes, A., & Velarde, M. J. (2011). Edafología. En *Edafología 1*.
- Perez, C., Huidobro, J., & Álvarez, D. (2020). *Carbono de la biomasa microbiana de los suelos como indicador de cambios en sistemas productivos locales*.
- Porta, J., López, M., & Roquero, M. (1994). Edafología: Para la agricultura y el medio ambiente. *P839e* 7352 *c.1*.
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/14463>
- Prieto, Judith., Prieto, Francisco., Acevedo, Otilio., & Méndez, María. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (Ics) cebaderos del sur del Estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 83-91.
<https://doi.org/1021-7444>
- Prieto-Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O. A., & Méndez-Marzo, M. A. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 83.
<https://doi.org/10.15517/am.v24i1.9643>
- Ramírez, R. (1997). Propiedades Físicas, Químicas y Biológicas de los Suelos. En *Convenio FENALCE-SENA-SAC*.

- Ritchey, E., McGrath, J., & Gehring, D. (2015). Determining Soil Texture by Feel. *Agriculture and Natural Resources Publications*.
https://uknowledge.uky.edu/anr_reports/139
- Rodriguez, E. J. A., Ocampo, J. W. M., & Escobar, R. M. E. (2012). Acondicionamiento del sensor de pH y temperatura para realizar titulaciones potenciométricas. *Scientia et Technica*, 2(51), Art. 51. <https://doi.org/10.22517/23447214.1603>
- SAG. (2010). Protocolo de Toma de Muestras de Suelos. En *Gestión Ambiental, Ministerio de Agricultura*. (pp. 1-5).
- Salazar, A. M. (2016). *Implementación del Método Kjeldahl para la determinación de proteína para diferentes matrices en el Laboratorio ECUACHEMLAB Cía. Ltda.* [BachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería Bioquímica].
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/23816>
- Sánchez, Á. L., Herrera, M., Recarey, C. A., López, E., & González, O. (2010). Determinación del desgaste de los aperos de labranzas de suelo en condiciones de campo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(4), 60-66.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542010000400010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Sandoval, M., Dorner, J., Seguel, O., Cuevas, J., & Rivera, D. (2012). *Métodos de análisis físicos del suelo*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/59208>
- Santos, D., Wilson, M., & Ostinelli, M. (2012). *Metodología de Muestreo de Suelo y Ensayos a Campo*.
- Sarmiento, E., Fandiño, S., & Gómez, L. (2018). Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática. *Ecosistemas*, 27(3), 130-139.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.1598> Artículo
- Savira, F., & Suharsono, Y. (2013). LOS COMPONENTES SÓLIDOS DEL SUELO. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 01(01), 1689-1699.
- SEMARNAT. (2005). Fuentes naturales. En *Inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México, 1999* (pp. 71-78).
- SSDS. (1993). *Tiangulo textural de suelos*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).
http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf

- Stivers, L. (2017). Introducción a los Suelos: La Calidad de los Suelos. *PennState Extension*, 1-7.
- Toledo, D., Arzuaga, S., Galantini, J. A., & Vazquez, S. (2018). INDICADORES E INDICES BIOLOGICOS DE CALIDAD DE SUELO EN SISTEMAS FORESTALES. *Asociación Argentina Ciencia del Suelo*, 36(2), 1-12.
- Trujillo - González, J. M., Mahecha, J. D., & Torres - Mora, M. A. (2018). El Recurso Suelo: Un análisis de sus Funciones, Capacidad de Uso e Indicadores de Calidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 29-38. <https://doi.org/10.22490/21456453.2095>
- UBA. (2022). *Normas Básicas de Seguridad Química en los Laboratorios de Docencia e Investigación*. Servicio de Higiene y Seguridad. <https://exactas.uba.ar/higieneyseguridad/seguridadlaboral/seguridad-quimica/normas-basicas-de-seguridad-quimica-en-los-laboratorios-de-docencia-e-investigacion/>
- UJA. (2022). *Cálculo del Índice de la Calidad del Suelo*. <http://www4.ujaen.es/~jschica/web-pid/isco/guion.html#>
- UNLP. (2010). El suelo: Un universo invisible. *Universidad Nacional de la Plata*.
- Vargas, Rogelio. (2010). Indicadores biológicos para la evaluación de la calidad de los suelos. *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, 1-14.
- Villarreal-Núñez, J., Pla-Sentis, I., Agudo-Martínez, L., Villaláz-Pérez, J., Rosales, F., & Pocasangre, L. (2013). Índice de calidad del suelo en áreas cultivadas con banano en Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 301. <https://doi.org/10.15517/am.v24i2.12530>

[illegible]

GUÍA DE DILIGENCIAMIENTO CADENA DE CUSTODIA DE AGUAS Y SUELOS

Tenga en cuenta las siguientes instrucciones para el diligenciamiento del FOM 04 010 Cadena de Custodia de Aguas y Suelos.

(1) Ingrese la fecha del diligenciamiento del registro

(2) Ingrese la hora de realización del muestreo

(3) Ingrese el nombre de la persona responsable del diligenciamiento del registro

(4) Ingrese la firma de la persona responsable del muestreo

(5) Ingrese el nombre o razón social de quien solicita el muestreo

(6) Ingrese el teléfono de quien solicita el muestreo

(7) Ingrese la dirección de quien solicita el muestreo

(8) Ingrese el nombre de la persona a contactar en el cliente

(9) Ingrese el municipio y departamento donde se realiza el muestreo

(10) Ingrese el sitio de monitoreo o nombre del pozo

(11) No diligencie este espacio. Exclusivo uso de ChemLab. Corresponde al consecutivo de muestras

(12) Ingrese el consecutivo de muestras. Ejemplo: 1, 2, 3...

(13) Ingrese el nombre del punto muestreado

(14) Para aguas superficiales: 5 m aguas arriba/5 m aguas abajo del punto de vertimiento

(15) Nombre del punto de muestreo: Lote # ...

(16) Ingrese la fecha de toma de muestra (año, mes y día)

(17) Indicar si los recipientes de la muestra están preservados

(18) En caso de que existan recipientes preservados y sin preservar deben seleccionarse las dos opciones SI y NO

(19) Indicar el tipo de muestra recibida:

(20) Si: síple, compuesto o integrado

(21) Indicar el tipo de muestra tomada. Solo debe llenarse un espacio

(22) Indicar el tipo y cantidad de recipientes utilizados

(23) No diligencie este espacio. Exclusivo uso de ChemLab. Corresponde al estado en que ingresan las muestras al laboratorio

(24) Ingrese el nombre de la persona que realizó el muestreo

(25) Ingrese los documentos anexos a esta cadena de custodia

(26) Ingrese el nombre de la persona que entrega las muestras al responsable de campo

(27) Indique las observaciones si aplica

(28) No diligencie este espacio. Exclusivo uso de ChemLab. Corresponde a la fecha en que ingresan las muestras al laboratorio

(29) No diligencie este espacio. Exclusivo uso de ChemLab. Corresponde a la hora en que ingresan las muestras al laboratorio

(30) No diligencie este espacio. Exclusivo uso de ChemLab. Corresponde a la persona que ingresó las muestras al laboratorio

(31) No diligencie este espacio. Exclusivo uso de ChemLab. Corresponde a la verificación por el Coordinador de laboratorio

DE LOS AUTORES

Miguel Ángel Osorio Rivera



Ingeniero Ambiental, Magister Universitario en Ingeniería para el Ambiente y el Territorio. Estudiante de Doctorado de Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias. Coordinador del grupo de investigación IITMS. Miembro Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Cuenta con artículos científicos en bases de datos de alto impacto como WEB OF SCIENCE y SCOPUS. Coordinador de la carrera de Ingeniería Ambiental de la ESPOCH -Sede Morona Santiago.

Sandra Elizabeth López Sampedro



Bioquímica Farmacéutica, Magister en Agroindustria mención Tecnología de Alimentos y Magister en Farmacia Clínica y Hospitalaria. Con experiencia en el área de análisis experimental de laboratorio físico químico de diferentes matrices alimentarias y no alimentarias. Se ha desempeñado como: técnico de laboratorio de Nutrición y Bromatología de la Facultad de Ciencias Pecuarias ESPOCH Riobamba (2012-2014), actualmente docente ESPOCH desde el 2014, Integrante del Grupo de Investigación para el Desarrollo e Innovación de Productos Agroindustriales “GIDIPA”. Cuenta con varios proyectos de Investigación y Vinculación Institucionales y publicaciones científicas regionales y de alto impacto. Actualmente, docente de la carrera de Ingeniería Zootécnica e Ingeniería Agroindustrial de la Matriz, ESPOCH.

Juan Pablo Haro Altamirano

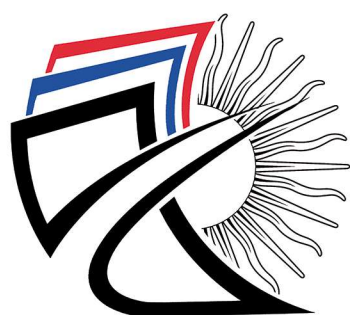


Ingeniero Agrónomo, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de Proyectos para el Desarrollo, Ph.D Agricultura Sustentable. Cuenta con experiencia en el área de desarrollo agropecuario. Se ha desempeñado como: responsable del área agropecuaria en los Cantones de Riobamba, Guano, Colta, Guamote, Penipe (2012-2014), responsable del Laboratorio de Biotecnología ESPOCH, Integrante del Grupo de Investigación Innovación y Transferencia de Tecnología “IITMS”. Cuenta con varios proyectos de Investigación y Vinculación implementados. Además, cuenta con varias publicaciones científicas. Actualmente, es docente de la carrera de Ingeniería Zootecnia, Ingeniería de la Sede Morona Santiago, ESPOCH.

William Estuardo Carrillo Barahona



Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Máster Universitario en Cambio Global Recursos Naturales y Sostenibilidad, Estudiante de Doctorado de Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias. Cuenta con experiencia en centros de investigación nacionales e internacionales a en el área ambiental. Ha colaborado en proyectos de vinculación e investigación, Investigador activo del grupo de investigación IITMS. Miembro Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la carrera de Ingeniería Ambiental de la Sede Morona Santiago, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



**PUERTO MADERO
EDITORIAL**

ISBN 978-987-82912-0-8

