

# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN  
CALCISOL DESTINADO A DIFERENTES USOS EN EL MUNICIPIO DE GENERAL  
FELIPE ÁNGELES, PUEBLA.

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:  
Licenciatura en Ingeniería Ambiental

Presenta  
Gustavo Adolfo De Gregorio Ramos

Director de Tesis  
Dra. Janette Arriola Morales

Co-director  
Dr. Octavio Olivares Xometl

Puebla. Pue. 2023



**BUAP**

"HUP, 50 años de enseñanza y salud"

Oficio No. FIQ/AC/010/2023

Asunto: Registro de Tema de Tesis

**C. GUSTAVO ADOLFO DE GREGORIO RAMOS**

PASANTE DE LA LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA AMBIENTAL

P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Ambiental cuyo título es el siguiente:

**"Comparación de las características físicas y químicas de un Calcosol destinado a diferentes usos en el municipio de General Felipe Ángeles, Puebla"**

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES

METODOLOGÍA

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

Directora de Tesis: Dra. Janette Arriola Morales

Co-Director: Dr. Octavio C. Olivares Xometl

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO**.

Atentamente

"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"

H. Puebla de Z., a 17 de enero de 2023

**Dra. Valeria Jordana González Coronel**  
**Secretaria Académica**

C.c.p. Director de Tesis: Dra. Janette Arriola Morales

C.c.p. Co-Director: Dr. Octavio C. Olivares Xometl

C.c.p. Archivo.



**BUAP**

"HUP, 50 años de enseñanza y salud"

Oficio No. FIQ/DI/101/2023

Asunto: Asignación de Jurado por Tesis Profesional.

**Mtro. Ricardo Valderrama Valdez**  
**Director de Administración Escolar de la BUAP**  
**Presente:**

La que suscribe en su carácter de Directora de la Facultad de Ingeniería Química, se permite informar a usted de la ASIGNACIÓN DE JURADO por Tesis Profesional para obtener el título de la **LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL** del alumno:

**GUSTAVO ADOLFO DE GREGORIO RAMOS**  
Matricula: 201659292

Bajo el tema de Tesis Profesional denominado:

"COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN CALCISOL  
DESTINADO A DIFERENTES USOS EN EL MUNICIPIO DE GENERAL FELIPE ÁNGELES,  
PUEBLA"

**JURADO EXAMINADOR ASIGNADO**

**PRESIDENTE:**  
**SECRETARIO:**  
**VOCAL:**

Dra. Gabriela Pérez Osorio  
Dra. Maribel Castillo Morales  
Dra. Janette Arriola Morales

**FECHA DE EXAMEN:**  
**DIA Y HORA:**  
**MODALIDAD:**

3 de Marzo de 2023  
Viernes 12:00 horas  
Presencial

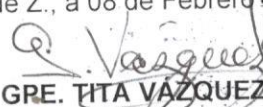
Solicitando sirva citarlos con 5 días de anticipación según lo establece el reglamento de exámenes profesionales.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

Atentamente

"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"

H. Puebla de Z., a 08 de Febrero de 2023

  
**M.I.C. MA. GRE. TITA VÁZQUEZ ESPINOSA DE LOS MONTEROS**  
**DIRECTORA**



C.c.p. Archivo

Facultad  
de Ingeniería  
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San  
Manuel, Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C. P. 72590  
01 (222) 229 55 00  
Exts. 7250 y 7251

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, que sin ser su mente más brillante me ha dado las habilidades, dones y personas adecuadas para poder llegar tan lejos como yo camine, tan alto como lo desee y tan profundo como mí ser lo anhele.

A mi padre que, a pesar de la lejanía y dificultades, siempre se ha esforzado por darme la oportunidad y los medios para estudiar y así el día de hoy terminar una carrera universitaria.

A mi madre que, con cada palabra, cada acción y yendo siempre más allá sus posibilidades, me ha apoyado y alentado en cada etapa para ser mejor persona.

A mi directora de tesis, Dra. Janette Arriola Morales, por su disposición, tiempo, guía y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo.

A cada uno de mis profesores que han contribuido en mi formación académica, dándome las herramientas para poder seguir en el camino del aprendizaje y la enseñanza.

A mis amigos de la universidad que sin pensarlo ahora son familia y durante estos años hemos compartido el camino de formación profesional, siendo compañeros en aventuras y desveladas.

Y a cada una de las personas fugaces, temporales y permanentes con quienes he cruzado y compartido el camino, que han influido en mí tanto positiva como negativamente, porque cada experiencia vivida, cada logro y cada herida, me han moldeado para poder alcanzar el apogeo de esta etapa mirando ahora al horizonte posibilidades infinitas de alcanzar una nueva cima.

## DEDICATORIA

...a mi yo pequeño, ese niño que hace años siendo tímido, introvertido y débil ha logrado alcanzar metas que parecían impensables.

# ÍNDICE

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....                                                      | 5  |
| JUSTIFICACIÓN .....                                                     | 7  |
| OBJETIVOS.....                                                          | 9  |
| GENERAL.....                                                            | 9  |
| PARTICULARES.....                                                       | 9  |
| CAPITULO: MARCO TEÓRICO .....                                           | 10 |
| IMPORTANCIA DEL SUELO COMO RECURSO NATURAL .....                        | 10 |
| DIVERSIDAD DE SUELOS EN MÉXICO .....                                    | 10 |
| CALCISOL .....                                                          | 11 |
| FUNCIONES ECOSISTÉMICAS DEL SUELO .....                                 | 11 |
| PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y BIOMASA .....                                 | 11 |
| ESCENARIO INDISPENSABLE PARA LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS.....             | 11 |
| ALMACENAMIENTO O FIJACIÓN DE CARBONO .....                              | 11 |
| ALMACENAMIENTO Y FILTRACIÓN DE AGUA.....                                | 12 |
| SOPORTE DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS Y PROVEEDOR DE MATERIAS PRIMAS ..... | 12 |
| RESERVA DE BIODIVERSIDAD .....                                          | 12 |
| DEPÓSITO DE PATRIMONIO GEOLÓGICO Y ARQUEOLÓGICO .....                   | 12 |
| ENTORNO FÍSICO Y CULTURAL PARA LA HUMANIDAD .....                       | 12 |
| ACTIVIDAD AGRÍCOLA.....                                                 | 12 |
| CULTIVOS DE RIEGO .....                                                 | 13 |
| CULTIVOS TEMPORALES.....                                                | 13 |
| SUELOS EN ESTADO NATURAL .....                                          | 14 |
| EVALUACIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUELO .....                                | 15 |
| PARÁMETROS DE CALIDAD DEL SUELO .....                                   | 15 |
| INFILTRACIÓN .....                                                      | 16 |
| CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA .....                                 | 17 |
| HUMEDAD .....                                                           | 17 |
| DENSIDAD .....                                                          | 18 |
| POROSIDAD .....                                                         | 18 |
| COLOR.....                                                              | 19 |

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| COEFICIENTE DE EXTENSIBILIDAD LINEAL (COLE) .....                                                                       | 21 |
| ESTABILIDAD DE AGREGADOS .....                                                                                          | 21 |
| pH DEL SUELO .....                                                                                                      | 22 |
| TEXTURA .....                                                                                                           | 23 |
| PORCENTAJE DE SATURACIÓN .....                                                                                          | 25 |
| CARBONO ORGÁNICO .....                                                                                                  | 25 |
| MATERIA ORGÁNICA .....                                                                                                  | 27 |
| CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....                                                                                           | 28 |
| CARBONATOS .....                                                                                                        | 29 |
| BICARBONATOS .....                                                                                                      | 30 |
| CLORUROS .....                                                                                                          | 30 |
| CALCIO .....                                                                                                            | 31 |
| MAGNESIO .....                                                                                                          | 32 |
| ACIDEZ EXTRAÍBLE .....                                                                                                  | 33 |
| CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO .....                                                                                | 34 |
| NITRÓGENO TOTAL .....                                                                                                   | 34 |
| CAPITULO: METODOLOGÍA .....                                                                                             | 36 |
| ÁREA DE ESTUDIO .....                                                                                                   | 36 |
| MUESTREO .....                                                                                                          | 38 |
| DETERMINACIONES EN CAMPO .....                                                                                          | 39 |
| DETERMINACIONES EN LABORATORIO .....                                                                                    | 40 |
| PREPARACIÓN DE LA MUESTRA .....                                                                                         | 40 |
| PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA .....                                                                                      | 41 |
| CAPITULO: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                                                  | 51 |
| ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS DETERMINACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS DIFERENTES ZONAS DE ESTUDIO ..... | 51 |
| CONCLUSIONES .....                                                                                                      | 62 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                                      | 64 |

# INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el censo poblacional del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el año 2020 la población total en los Estados Unidos Mexicanos era de 126, 014, 024 habitantes. En ese mismo año la producción de maíz, que es cereal más consumido en el país, fue de 27 millones de toneladas siendo el consumo anual per cápita de aproximadamente 331 kilogramos.

La producción masiva de alimentos y de materias primas es únicamente la respuesta a la gran demanda de alimentos y recursos que tiene la sociedad debido al incremento poblacional que se tiene año con año, pues a mayor cantidad de personas hay más individuos que alimentar por lo que es necesario producir más alimentos en igual o menor tiempo y para ello se ha tenido que explotar el suelo de tal modo que los agricultores puedan satisfacer las grandes demandas de la población. Como consecuencia, la agricultura se ha visto transformada por los avances tecnológicos y la sustitución de productos orgánicos por químicos, así como el uso de herramientas convencionales por maquinaria pesada y la implementación de sistemas de riego entre otras, de esta forma los agricultores han logrado implementar métodos, técnicas, herramientas, maquinaria y productos agroquímicos para poder mejorar los rendimientos de sus cultivos, sin embargo, para lograr esto se ha sacrificado la salud y calidad del suelo repercutiendo en la pérdida de fertilidad y su erosión (Adhikari y Hartemink, 2016).

En la agricultura se establecen cultivos temporales y de riego, cada uno emplea métodos y herramientas para realizar tareas de laboreo y labranza, así como como la fertilización de los cultivos, control de plagas y malezas, además de la frecuencia o intensidad con la que el suelo se explota. El suelo tiene un fuerte impacto ambiental como producto de las prácticas agrícolas (Valenzuela-Martínez et al., 2019). Los cultivos temporales al depender del agua que proporcionan las lluvias determinan un plazo para las etapas de siembra, mantenimiento y cosecha de los cultivos, dando lugar a un periodo de reposo en el que el suelo no es explotado. Por su parte, los cultivos de riego están siempre enfocados en disminuir al máximo el tiempo que transcurre desde el periodo de siembra hasta finalizar la cosecha, para así poder establecer un nuevo cultivo en el terreno sin dar lugar a tiempos muertos de producción, es decir, el suelo no tiene periodos de descanso y de este modo obtienen varias cosechas a lo largo del año.

Tanto el incremento poblacional como el consumo per cápita indujeron a la agricultura a intensificar su producción por unidad de superficie generando cambios estructurales de forma significativa en el suelo y con ello se ha contribuido a la generación de problemas ambientales a nivel local y global como son la transformación del ecosistema, la alteración de los ciclos biogeoquímicos, el cambio de uso de suelo, pérdida de biodiversidad en todos sus niveles, el desplazamiento de especies y la dispersión de la biota más allá de sus zonas geográficas naturales.

Las técnicas empleadas en el manejo del suelo alteran sus propiedades, pues generalmente las entradas de energía al sistema suelo-planta son menores que las salidas, o su resiliencia es insuficiente para regresarlo al estado previo a la intervención (Castillo-Valdez et al., 2021).

Además de esto, las demás funciones ecosistémicas del suelo se ven afectadas negativamente alterando así el equilibrio y salud de todo el ecosistema. La agricultura ha sido determinante en los problemas que se tienen actualmente en los suelos (Díaz et al., 2017)

La producción agrícola de temporal y de riego alteran la estructura del suelo transformando sus propiedades fisicoquímicas y alterando el equilibrio que el suelo es capaz de conservar en estado natural para un cumplimiento ideal de sus funciones ecosistémicas.

La realización de este trabajo permitirá conocer el impacto que tiene un cultivo temporal y un cultivo de riego, así como la transformación y deterioro que este sufre en su estructura y demás propiedades fisicoquímicas. Además, podremos conocer como el suelo conserva de manera natural cierto equilibrio en todas sus características cuando este no se somete bajo ningún tipo de intervención humana.

# JUSTIFICACIÓN

Satisfacer los requerimientos humanos, en especial la necesidad de alimento y materias primas genera la explotación de los recursos naturales, en especial el suelo que ha sido aprovechado por la agricultura durante largos periodos de tiempo.

La implementación no planeada de diferentes técnicas agrícolas ha permitido que el suelo se explote de manera desinteresada, enfocándose únicamente en alcanzar la mayor producción posible utilizando una misma extensión de terreno y sin dar pauta a que el suelo recupere las propiedades que pierde durante la estancia de los diferentes cultivos. La incorporación tecnológica en conjunto con prácticas agrícolas convencionales y el uso de agroquímicos, han propiciado la desertificación de los suelos, contaminación del aire y del ambiente, entre otros (Chalan, 2019).

El uso de fertilizantes destruye la microfauna presente en el perfil de suelo, afectando la descomposición y adecuada incorporación de la materia orgánica. Estos productos químicos se aplican de manera frecuente generando una acumulación de sustancias que alteran las propiedades fisicoquímicas del suelo, además que por efecto de las precipitaciones pluviales y la implementación de sistemas de riego estos agentes químicos se infiltran en el perfil de suelo alcanzando incluso las capas freáticas provocando un riesgo de toxicidad y envenenamiento para las plantas que disponen de esas fuentes de agua, así como para los organismos y microorganismos acuáticos.

La actividad agrícola intensiva, así como las prácticas agrícolas comunes, además del establecimiento de monocultivos y aplicación de agroquímicos ha generado problemas en la calidad de los suelos (Castillo et al., 2020). Desde hace más de dos décadas se han presentado serios impactos en la productividad de los suelos agrícolas debido a los procesos de degradación (Scherr y Yadav, 1997).

De manera natural el suelo conserva sus propiedades físicas y químicas en un mejor estado, pues, aunque pueden llegar a darse deficiencias de nutrientes, materia orgánica, y otros factores que intervienen en la estructura y por lo tanto en la salud y calidad del suelo, estas variaciones mantienen un equilibrio natural que no afectan de forma tan drástica al ecosistema y se mantienen en proporciones ideales según el tipo de suelo al que pertenece, conservando una buena calidad del suelo. La calidad de suelo se define por las características, atributos o propiedades físicas, químicas y microbiológicas que permitan al suelo ser fértil y producir productos sanos (Andrade et al., 2021).

Implementar un estilo de cultivo temporal e intercalado reduce la incidencia de malezas, plagas y enfermedades, además de mejorar la calidad del suelo, haciendo más eficientes el uso del agua y nutrientes, incrementando así la productividad de los terrenos de cultivo y reduciendo la variabilidad de rendimientos (Francis, 1986), sin embargo, el interés económico hace a esta última una alternativa más atractiva para los agricultores pues económicamente representa mayores ganancias para ellos.



# OBJETIVOS

## GENERAL

Demostrar que las actividades agrícolas de riego y temporal en el municipio de General Felipe Ángeles, Puebla, alteran negativamente las propiedades físicas y químicas que posee el suelo de forma natural.

## PARTICULARES

- Determinar en campo y en laboratorio las propiedades físicas de las muestras de suelo de riego, temporal y barranco.
- Determinar en laboratorio las propiedades químicas de las muestras de suelo de riego, temporal y barranco.
- Analizar los resultados obtenidos en las determinaciones físicas y químicas realizadas a las muestras de suelo de riego, temporal y barranco.
- Evaluar la degradación del suelo utilizado en la actividad agrícola de riego y temporal.

# CAPITULO: MARCO TEÓRICO

## IMPORTANCIA DEL SUELO COMO RECURSO NATURAL

Cada una de las partes que conformamos el planeta, tanto los componentes vivos así como los no vivos, dependemos completamente de un recurso en particular, el suelo, ya que este cumple con un papel de suma importancia, pues en él se desarrollan infinidad de procesos biológicos que nos proveen de los recursos necesarios para coexistir, además de servir como soporte para desarrollar nuestras vidas y diversas actividades y procesos naturales y antropogénicos.

El suelo es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de los cuales depende la sociedad mundial (CONABIO, 2016.; Silvia y Correa, 2009; OBIO, 2016; Montanarella, 2015).

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales. Los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo, entre otros, que continuamente y a causa de la energía disponible pasan de los sistemas vivos a los componentes no vivos del planeta.

Una de las influencias más considerables del suelo es su repercusión sobre el medio en el que se ubica, además de influir en las actividades sociales y económicas de los grupos humanos que se asientan en este territorio, grupos que ejercen diferente grado de presión sobre el suelo y que generan así afectaciones y/o deterioros sobre el recurso (Gardi et al., 2014). La historia, da cuenta de cómo el suelo ha hecho parte de la vida de los seres humanos, pero a su vez es olvidado cuando se habla de los recursos naturales (Burbano, 2013a y Savedra, 2015). El día de hoy se cuestiona que debe tenerse un manejo respetuoso del suelo, no solo para incrementar la producción de alimentos si no para preservar los servicios ecosistémicos y regulación de clima (FAO-ITPS, 2015).

## DIVERSIDAD DE SUELOS EN MÉXICO

La historia geológica en México es bastante compleja y diversa, por lo que existen variedad en la composición y estructura del suelo a lo largo de todo el país. En los estados del norte existen rocas antiquísimas que datan de la aparición de las primeras formas de vida en el planeta. En algunas otras regiones el suelo es bastante joven cuya edad es de apenas algunos años. Otras extensiones de suelo se formaron por material de origen que emergió del fondo del mar, como es el caso de la mayor parte de la zona oriente del territorio mexicano. Algunas rocas formadoras del suelo provienen de la actividad volcánica como son las zonas de toda la extensión del cinturón de volcanes que se encuentran desde colima hasta el centro de Veracruz.

Las distintas rocas con características y orígenes diferentes han interactuado de forma variable con las condiciones climáticas y atmosféricas de cada lugar, además de la biota que habita en cada región. El producto de esta variedad de interacciones es el suelo, el cual posee distintas características físicas y químicas conferidas en su proceso de formación, de acuerdo con las cuales hoy en día se clasifican diferentes tipos de suelo según la FAO/UNESCO (1998).

Dentro de la variedad de suelos con la que cuenta México encontramos a los calcisoles, un grupo de suelos de referencia del sistema de clasificación de suelos formulado por la Base referencial Mundial (WRB), los cuales de acuerdo con el INEGI (2014) ocupan un 18.2% de la superficie nacional.

### **CALCISOL**

De acuerdo con la Organización para la Alimentación y la Agricultura de Naciones Unidas (FAO, 1977) el término calcisol se deriva del latín “calcarius” es decir calcáreo. Estos términos hacen alusión a la característica acumulación de caliza secundaria. El material de origen de este tipo de suelo está constituido por depósitos aluviales coluviales y eólicos de materiales alterados ricos en bases. Estos suelos se encuentran en zonas áridas o semiáridas, con relieves llanos o colinados donde la vegetación natural suele ser de matorral y arbustiva de carácter xerófilo que se desarrollan junto a árboles, además se encuentran hierbas anuales. El perfil de suelo de un calcisol es de tipo ABC. El horizonte superficial se le tiene que tener un color pálido, de tipo ócrico; el horizonte B es de tipo cámbico o árgico posiblemente impregnado con carbonatos, pudiendo ser incluso vértico. En el horizonte C habrá siempre una acumulación de carbonatos.

Este tipo de suelo puede llegar a tener algunas limitaciones para poder utilizarse con fines agrícolas como son la sequía, la pedregosidad de algunas zonas y la presencia de horizontes pretrocálcicos someros. Pueden llegar a tener una alta productividad agrícola para diversos cultivos cuando se riegan y fertilizan, pero será necesario tener un buen drenaje, de lo contrario se generarán problemas de salinización.

## **FUNCIONES ECOSISTÉMICAS DEL SUELO**

Los suelos forman parte de los ecosistemas y de los agroecosistemas, donde presentan importantes funciones o servicios que mantienen a estos y apoyan las actividades sociales y económicas de la sociedad humana. Autores como Silva y Correa (2009), Burbano (2012), y Gardi (2014) nombran algunas funciones que cumple el suelo dentro de los ecosistemas, como son los siguientes:

### **PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y BIOMASA**

Entre las funciones de suelo una de las más evidentes y de mayor impacto es el soporte y suministro de nutrientes para las plantas con el fin de producir alimento y biomasa general. El suelo depende en gran medida de la producción mundial de alimentos. La degradación del suelo es problema que amenaza la producción de alimentos en el planeta.

### **ESCENARIO INDISPENSABLE PARA LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS**

Los ciclos biogeoquímicos son mecanismos indispensables para que en el planeta existan las condiciones estables que propician la vida. Estos ciclos involucran elementos como el carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, entre otros, tienen una cimentación insustituible en el suelo, además de ser vitales para todos los seres vivos.

### **ALMACENAMIENTO O FIJACIÓN DE CARBONO**

En la naturaleza el suelo es la mayor fuente de almacenamiento del carbono. La fijación del carbono en el suelo impide que el CO<sub>2</sub> vaya a la atmósfera, pues este es uno de los gases de

efecto invernadero que favorecen el cambio climático. Gracias a la intervención de las plantas y los microorganismos del suelo, es posible transformar el carbono en materia orgánica que se acumula en el suelo por periodos prolongados de tiempo. Se sabe que el carbono almacenado en el primer metro de suelo es una y media veces mayor al que se encuentra acumulado en la vegetación.

#### **ALMACENAMIENTO Y FILTRACIÓN DE AGUA**

Durante el ciclo hidrológico ocurren varias fases que tienen lugar en el suelo, estas fases son la captación, infiltración y almacenamiento del agua permitiendo así la recarga de los mantos acuíferos.

#### **SOPORTE DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS Y PROVEEDOR DE MATERIAS PRIMAS**

El suelo funge como base para realizar sobre el todo tipo de actividades como industriales, ubicación de zonas residenciales, actividades turísticas, vías de acceso, y todo tipo de infraestructuras y obras civiles. Además, el suelo es una fuente suministro de materias primas para construcción, alimentos, vestimenta, manufactura de maquinaria, entre otras.

#### **RESERVA DE BIODIVERSIDAD**

Dentro del suelo se resguarda un gran número de organismos que viven sobre él y en su interior, convirtiéndolo en una fuente de biodiversidad de gran tamaño e impacto. Los servicios ecosistémicos que presenta el suelo dependen de las estructuradas comunidades de organismos presentes en el mismo.

#### **DEPÓSITO DE PATRIMONIO GEOLÓGICO Y ARQUEOLÓGICO**

En el suelo podemos encontrar un gran depósito de restos e información que dan cuenta de la herencia humana e historia ambiental reciente en nuestro planeta. La preservación del patrimonio geológico y arqueológico depende de los procesos de formación y degradación del suelo, además de estar estrechamente relacionada con los efectos de la actividad biológica, escorrentía y actividades antropogénicas que ocurren en él.

#### **ENTORNO FÍSICO Y CULTURAL PARA LA HUMANIDAD**

El suelo permite a los seres humanos tener disposición de alimentos, espacio y hábitat para desarrollar su existencia en conjunto con todos los seres vivos, por lo que el suelo funciona como una base para actividades humanas, elemento del paisaje y patrimonio cultural.

### **ACTIVIDAD AGRÍCOLA**

La agricultura es la fuente básica de suministro de alimentos de todos los países a nivel mundial. La fuerte presión de la población incrementa la demanda de alimentos a un ritmo acelerado.

La actividad agrícola juega un papel importante en el desarrollo económico, especialmente en países en desarrollo y en la disminución de la pobreza. Las personas más pobres se encuentran a menudo en zona rurales, donde hay más suelo disponible para uso agrícola, donde la comunidad puede ser alimentada y el excedente es vendido para obtener ganancias económicas.

La agricultura representa una oportunidad para generar ingresos además de la producción de alimentos, con una buena gestión de los sistemas de producción y distribución adecuados. La exigencia por generar grandes cantidades de cosechas para satisfacer las necesidades alimentarias y económicas demanda el mejoramiento en las técnicas agrícolas para obtener mejores y mayores producciones utilizando las mismas extensiones de cultivo.

En la agricultura existen métodos y herramientas que se aplican a los cultivos para obtener mejores rendimientos. De acuerdo con el manejo y técnicas que se usen sobre el suelo de cultivo se podrá obtener recursos de manera moderada o exhaustiva durante una temporada o a lo largo de todo el año, modificando así con el tiempo ciertos parámetros que afectan directamente a la fertilidad, disposición de agua, nutrientes y la conservación del recurso.

### CULTIVOS DE RIEGO

Los cultivos de riego son una actividad agrícola que explota el suelo de manera intensiva para la producción de alimentos e insumos para el aprovechamiento y beneficio del ser humano.

Los cultivos de riego son una actividad agrícola que explota el suelo de manera intensiva. Se considera agricultura intensiva cuando se transforman las tierras de temporal a riego, lo que supone una intensificación de la agricultura, una mayor demanda de los recursos naturales sobre los que se sustenta la producción agraria y modificando el equilibrio natural. Históricamente la agricultura de riego ha ocupado las mejores tierras en el sentido de disponibilidad de agua y fertilidad (Pérez e Isabel, 2017).

La agricultura intensiva hace uso excesivo de los recursos y elementos que propician una buena producción, especialmente el agua. La explotación desmedida de los recursos naturales se caracteriza por los altos requerimientos de capital y una limitada demanda de suelo.

Los cultivos tienen un elevado coste de suelo, inversión, mano de obra y alta tecnología; el crecimiento de la producción intensiva puede ser una fuente de riqueza económica pues su objetivo es maximizar la producción en condición de espacios reducidos y en menor tiempo logrando una alta productividad por unidad de área ofreciendo productos de calidad en tiempo relativamente cortos. Como consecuencia, se tiene la degradación exhaustiva del suelo pues se vuelve insostenible debido a la gran demanda del recurso por las constantes exigencias de cultivos durante todo el año.

### CULTIVOS TEMPORALES

Las prácticas agrícolas en las que se involucra el crecimiento local y cultural; es considerada una actividad de bajo impacto al medio ambiente ya que da prioridad a la satisfacción de las necesidades básicas sociales y la conservación del ambiente, permitiendo regenerar el entorno, de manera sustentable (Martínez et al., 2008).

Debido a que no se cuenta con tecnología avanzada, la producción depende de las condiciones naturales del suelo, así como de los agricultores y la disposición de agua que se obtienen de las lluvias en temporadas que permiten su aprovechamiento. Los insumos utilizados suelen ser abonos orgánicos como estiércol de ganado o residuos de cosechas anteriores, y las semillas se obtienen seleccionando las de mejor calidad de la siembra anterior.

Al aprovecharse las condiciones climáticas naturales para el desarrollo de estos cultivos, estos son de manera estacional o temporal. Los cultivos van alternándose a lo largo de las estaciones del año con periodos de descanso y rotación de cultivos, lo cual permite una mejor conservación de las propiedades físicas y químicas del recurso suelo.

## SUELOS EN ESTADO NATURAL

En cada zona geográfica existen suelos con diferentes características físicas y químicas propias de cada lugar que se han originado gracias a diversos factores como son el relieve, el clima, pero principalmente la roca madre que dio origen a la formación del suelo de ese sitio. Cada parte dentro de la naturaleza se encuentra en cierto equilibrio con su entorno lo que le permite realizar sus funciones ecosistémicas de la mejor manera, pues este equilibrio se da de manera natural y permite satisfacer las necesidades del medio y la regeneración de recursos para seguir conservando el balance natural. Sin embargo, la explotación de todos los recursos, incluidos el suelo, han modificado con el tiempo las características naturales que posee debido a su explotación desmedida que no considera ninguna planificación que permita conservar el recurso.

Cada vez existe mayor demanda de materia prima, de alimentos y de lugares para construcción, lo que representa una mayor exigencia de terreno. En el caso de la producción de alimentos el suelo es sometido a condiciones cada vez más extremas, pues la mayoría de los productores busca generar cultivos que le provean de una mayor producción de alimentos y materia prima, en menor tiempo y en una misma extensión de terreno, lo que ha degradado fuertemente al recurso modificando significativamente sus características fisicoquímicas. Los sistemas naturales se encuentran en un estado delicado debido al comportamiento irracional de sus beneficiarios, pues el uso inmoderado y la no planificación y gestión ambiental.

Las características físicas y químicas de un suelo conservado, es decir que no ha sido explotado por la mano del hombre y por lo tanto se preserva en condiciones naturales, varían de acuerdo con el orden o clasificación al que pertenecen, pero usualmente suelen ser suelos altamente productivos en comparación con aquellos suelos que han sido explotados pues estos han perdido cierto grado de fertilidad. La pérdida de nutrientes en el suelo se refleja en la decadencia productiva de los cultivos y se ha compensado con la adición de fertilizantes, generalmente químicos, que al carecer de una buena planificación en su uso terminan generando problemas como la acumulación excesiva de ciertos elementos. Se han usado también variedades vegetales mejoradas y maquinaria pesada sin tomar en cuenta sus efectos a largo plazo.

El suelo, especialmente los suelos vírgenes, no son un recurso inagotable, pues al ser un elemento no renovable e insustituible tienen un límite que en algún momento será sobrepasado al no tener un buen manejo del recurso. El suelo es un ecosistema que alberga y da lugar a la generación de vida, es un sistema con entrada y salidas de energía. La adición artificial e irracional de cualquier fertilizante o pesticida generan daños irreversibles en él.

De forma natural, un suelo maduro tiene la capacidad de mantener su productividad de manera sustentable por medio de la entrada de energía. La energía producida en el suelo resulta de un proceso de interacciones tróficas cuyas salidas se reflejan en términos de productividad de

biomasa que en condiciones naturales se reincorpora al mismo suelo. Este proceso se vuelve insostenible gracias a la agricultura, ya que una considerable cantidad de energía producida por el suelo no se acumula en el mismo mediante el consumo de la biomasa por el propio sistema, si no que esta se extrae en cada una de las cosechas. La materia orgánica es un indicador edáfico que nos permite medir la sostenibilidad de un agroecosistema, además que de ella dependen factores como la estabilidad hídrica de los agregados.

Las propiedades naturales que posee el suelo como la fertilidad y productividad deberían conservarse y aumentarse con el tiempo con un buen manejo del recurso (USDA, 2017). La formación del suelo es un proceso que requiere de bastantes años. El suelo se está destruyendo por la erosión a una velocidad ocho veces más rápido del tiempo que se necesita para formarse (FAO, 2019).

## EVALUACIÓN Y CONSERVACIÓN DE SUELO

La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos (doran y Parkin, 1994). Podemos entender la calidad como la utilidad de este para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter et al., 1997). El estado de las propiedades dinámicas del suelo como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos, o productos microbianos en un tiempo particular constituye a la salud del suelo (Romig et al., 1995).

Las características físicas son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000).

La humanidad debe asegurarse que el suelo no se degrade y que la explotación de este recurso sea proporcional a su capacidad para satisfacer las necesidades presentes y futuras. El uso inadecuado del suelo conduce, no solamente a la explotación ineficiente de los recursos naturales y al fenómeno de degradación, sino también a la pobreza y otros problemas sociales (Rossiter, 1996).

La calidad es la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites naturales o de los agroecosistemas, para mantener la productividad de las plantas y de los animales, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire, y sostener la salud humana, así como su hábitat (Bautista Cruz et al., 2004).

## PARÁMETROS DE CALIDAD DEL SUELO

Monitorear los cambios que tienen las propiedades de suelo es imprescindible para evitar consecuencias no deseadas a causa del cambio de uso de suelo (Cherubin et al., 2016).

La calidad del suelo no se puede medir directamente en campo o en laboratorio, sin embargo, puede inferirse indirectamente a través del uso de indicadores (Zornoza et al., 2015; Salome et al., 2016) considerados como aquellas propiedades del suelo medibles que tienen mayor sensibilidad a los cambios en la función y servicios ecosistémicos del suelo (Karlen et al., 1997; Arshad & Martin 2002).

Los indicadores de calidad del suelo deben abarcar procesos ecosistémicos, integrar propiedades del suelo, ser accesible a múltiples usuarios y además deben ser sensibles a las prácticas culturales y al clima. Se pueden considerar una amplia gama de indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo, sin embargo, debido a los altos costos, no es factible considerarlos todos (Cardoso et al., 2013; Zornoza et al., 2015).

Las propiedades físicas reflejan la limitación para el desarrollo de las raíces, emergencia de las plántulas, la infiltración, la retención de agua o el movimiento de la fauna (Burger & kelting, 1999).

La determinación de la calidad del suelo debe estar estrechamente relacionada con el uso del recurso, considerando los requerimientos para cada caso específico, pues estos cambian dependiendo de si el uso es agrícola, forestal, urbano o industrial. Para la generación de indicadores e índices de calidad del suelo se deben integrar propiedades físicas y químicas, las cuales tendrán cierta variación dependiendo de las condiciones particulares de cada región dado que las condiciones edafoclimáticas son distintas en cada zona, lo cual repercute directamente en la gestión integral del recurso.

## INFILTRACIÓN

La entrada de agua dentro del perfil del suelo en forma vertical es un proceso de gran importancia, conocido como infiltración. La capacidad de infiltración del suelo determina la tasa con la que el agua puede ser aplicada a su superficie sin escurrimiento.

Dentro del ciclo hidrológico se considera a la infiltración como un proceso de gran repercusión, que además se ve afectada por la degradación mediante compactación del suelo. La entrada de agua dentro del suelo seco se da en condiciones no saturadas (Porta et al., 1994).

El agua disponible en el suelo incluye a todo el conjunto climático y establece la forma de producción de cultivos, lo que convierte a la infiltración en un parámetro de interés para los sistemas de riego y el ciclo hidrológico.

La forma en que se administra el agua en el suelo ya sea de forma programada por sistemas de riego o natural proveniente de la lluvia así como la magnitud del volumen que se administra afectan directamente el proceso de infiltración. Otras propiedades del suelo como la porosidad o la textura también interfieren en la infiltración, pues estas le confieren ciertas características que facilitan o dificultan el paso del agua por el perfil de suelo. Las condiciones del terreno también suelen afectar la infiltración, pues la presencia de pendientes, plantas y las actividades que se desarrollan sobre el suelo que suelen compactar el mismo, suelen afectar el proceso.

La presencia de especies vegetales, el sobrepastoreo y tareas de labranza, suelen interferir negativamente en la capacidad de infiltración del suelo. Sin embargo, la presencia de una cubierta vegetal favorece la retención de humedad en el suelo durante las temporadas de sequía. La porosidad brinda mejores condiciones para que el proceso de infiltración sea más eficiente.

## CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA

La porosidad del suelo cumple funciones específicas que determina la conductividad hidráulica en fase saturada o conductividad hidráulica saturada, interfiriendo también todos los aspectos que determinan la porosidad del suelo. El sistema poroso que posee un suelo en particular determinará la mecánica y funcionalidad de la conductividad hidráulica saturada, la cual será específica para cada área determinada por el tipo de suelo y las características físicas que este posee.

La estructura del suelo determina la conductividad hidráulica saturada en mayor medida que su textura, pues la porosidad difiere incluso en zonas muy cercanas significando grandes diferencias para la conductividad hidráulica, además cuando se tiene una alta porosidad se ve reflejado en valores elevados de conductividad hidráulica saturada, principalmente en suelos arcillosos, teniendo valores parecidos o muy cercanos a los de un suelo arenoso (Hartge y Horn, 1991).

## HUMEDAD

Cuando hablamos de la humedad del suelo, nos referimos a la cantidad de agua presente en el perfil de suelo, la cual está definida por algunos factores específicos como el contenido de materia orgánica, la textura, la presencia de cubierta vegetal, la incidencia de lluvias en la zona o establecimiento de algún sistema de riego y la evaporación del agua que ocurre de forma natural por efecto de la temperatura ambiental del medio (Hillel, 1998).

Cuando un suelo posee altos contenidos de arcilla y humos, el contenido de humedad será alto y estará establecido siempre de manera directamente proporcional, de esta manera si entre mayor sea el porcentaje de arcillas y humus en un suelo mayor será el contenido de humedad y su retención en el suelo. La composición de las partículas de suelo está ligada fuertemente con la cantidad de líquido que es capaz de retener, pues es en las partículas de suelo donde fija el agua.

La porosidad tiene un gran efecto en la humedad del suelo, pues el tamaño y distribución de los poros permite que entren grandes cantidades de agua en el perfil de suelo, incluso en volúmenes mayores a los que se tendrían en su capacidad de campo.

Cuando se tiene un suelo con partículas extremadamente finas y homogéneas, características de suelos con alto contenido de arcillas expansivas, la humedad se ve afectada por una gran tensión lo que permite una lenta liberación de humedad al ambiente.

Los agregados del suelo, así como la porosidad y todas las características edáficas de un suelo influyen directamente en el ciclo hídrico en el suelo y por ende afecta su porcentaje de humedad.

El agua presente en el suelo no se encuentra de forma libre, si no que forma una película que se fija en las partículas de suelo gracias a la interferencia de algunas fuerzas que poseen magnitudes y direcciones diferentes. Para que el agua se encuentre de forma libre en el suelo, este debe encontrarse saturado.

El peso propio del agua y las partículas que se encuentran suspendidas en él, así como la atracción vertical que se genera por la fuerza de gravedad del planeta, son fuerzas que influyen en la retención de humedad en el suelo. Estas fuerzas generan un campo de energía en todas las direcciones de la superficie del suelo que en conjunto con las fuerzas que generan los iones presentes en el agua, atraen el volumen de agua hacia las partículas de suelo formando así una película de agua y fijándola de esta manera a las partículas de suelo.

La energía cinética que presenta el agua en el suelo es prácticamente nula debido a que el flujo del agua por los poros del suelo ocurre de forma muy lenta (Hillel, 1998).

## DENSIDAD

Se conoce como densidad a la masa, en este caso de suelo, por unidad de volumen. De acuerdo con la Organización para la Alimentación y la Agricultura de Naciones Unidas (FAO, 1977) es posible clasificar a la densidad del suelo en dos variantes según la densidad de sus componentes sólidos y el espacio entre poros de sus agregados, por lo tanto, los tipos de densidad del suelo son:

**La densidad aparente**, que expresa la masa de una unidad de volumen de suelo seco y no alterado para cuantificar tanto la fase sólida como la gaseosa presente en el suelo. Para determinar la densidad aparente es necesario tomar un volumen de suelo que sea significativo y homogéneo para que las propiedades de este sean representativas del área de estudio en la muestra. Al extraer la muestra para esta determinación, no debe perturbarse el estado del suelo para conservar las condiciones físicas del suelo en campo. Una vez obtenido el valor de la densidad aparente es posible establecer equivalencias entre las relaciones masa/masa usada generalmente para la medición de parámetros del suelo, y masa/superficie utilizada en la aplicación de fertilizantes, corregir deficiencias o problemas de acidez.

**La densidad real**, que incluye únicamente la densidad de los componentes sólidos del suelo. Esta suele ser un valor constante ya que la mayor parte de minerales arcillosos presentan una densidad alrededor de 2.65 gramos por centímetro cúbico.

## POROSIDAD

Se entiende por porosidad como el porcentaje que no es ocupado por partículas sólidas, con relación al volumen total del suelo. Los poros del suelo son espacios que alojan agua y gases, además albergan a la actividad biológica del perfil de suelo. Esta característica está inversamente relacionada con la densidad del suelo (Baver y Gardner, 1973).

El volumen total de poros está representado por la porosidad, donde el tamaño de las partículas de suelo, así como el de los agregados de partículas determina el espacio entre partículas. La capacidad de almacenamiento y el movimiento del agua en el suelo, además de la tasa de difusión gaseosa y el crecimiento radicular resultan de la distribución de poros y de su volumen total (Olson, 1985).

La porosidad es una característica del suelo que depende de otras variables como lo son la cantidad de materia orgánica, su textura y la actividad biológica del suelo. Cuando los elementos

que determinan la textura del suelo son cada vez mayor tamaño, mayor será el espacio que existe entre ellos, a excepción de aquellos casos en donde las partículas más finas ocupan estos espacios o si los cementos coloidales obstruyen los poros. Es muy común que los suelos con partículas gruesas presenten poros gruesos, mientras que en los suelos limosos y arcillosos se encuentren numerosos huecos, pero de menor tamaño. La porosidad de suelo cambia en cada una de las capas del perfil de suelo debido a los cultivos, laboreo, pisoteo del ganado o uso de maquinaria pesada.

La estructura del suelo influye significativamente en la porosidad, y conocer su valor puede emplearse para tener una idea de la estructura del suelo, ya que los agentes que destruyen la estructura disminuyen también su porosidad.

Para que un suelo tenga una adecuada aireación y retención de agua es necesario que tenga una porosidad de entre el 40 y 60 %, ya que en valores por debajo del límite inferior hay grandes probabilidades de generar asfixia en el sistema radículas de las plantas, así como una baja retención de agua. Por otra parte, un suelo con un valor excesivo de porosidad genera una gran dificultad para que exista contacto entre el suelo y las raíces de la vegetación.

Existen poros de distintos tamaños y que a su vez poseen diferentes funciones, lo cual permite clasificarlos de acuerdo con estas características. Los mesoporos, que son aquellos que miden entre 2  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$ , son quienes retienen toda el agua disponible para las plantas. Aquellos poros que miden  $<2 \mu\text{m}$  son denominados microporos y retienen agua que no se encuentra disponible para los cultivos. Los macroporos por su parte son responsables del flujo ágil del agua, así como de la aireación en el perfil de suelo.

La fracción mineral y orgánica, así como el contenido de agua definen la porosidad textural. Su afectación por el manejo de suelo es muy baja y está conformada por poros  $< 50 \mu\text{m}$  se sitúa dentro de los agregados y cumple funciones de almacenamiento de agua.

Los poros  $>50 \mu\text{m}$  definen la porosidad estructural y está determinada por los espacios entre agregados del suelo, cumplen una función de drenaje y aireación además de ser muy sensibles al manejo y compactación.

El tamaño de los poros y las fuerzas de retención son inversamente proporcionales, pues a menor tamaño de poro, mayor será la fuerza de retención, lo cual afecta directamente la aireación, el drenaje, la disponibilidad de agua para las plantas y el crecimiento del sistema radicular.

## COLOR

El color del suelo es un factor que se relaciona directamente con los componentes sólidos del mismo. Las principales relaciones que se han encontrado entre el color y sus componentes se pueden destacar que:

Existe una relación estrecha e inversa entre el value del color y el contenido de materia orgánica de los horizontes superiores de los suelos ubicados en el mismo paisaje y sin contrastes texturales muy amplios; también encontraron que la fracción orgánica que más influye sobre el

color oscuro del suelo es la de los ácidos húmicos. Cuando extrajeron estos ácidos el suelo presento un mayor cambio en el value, que cuando extrajeron los ácidos fúlvicos (Schulze, 1993).

Schwertmann (1993) encontró algunas relaciones que existen entre el contenido de óxidos de hierro en el suelo y su color, relacionó estos factores a varios ambientes de evolución de esos suelos. Además, estipula que todas las formas y los colores del suelo pueden ser alterados debido al contenido de cada óxido que se presente en el suelo, así como al tamaño de los cristales y de la cementación que hacen los colores más claros que las condiciones contrarias.

Montenegro y Malagon (1990) consideran otras características del suelo que están vinculadas con el color de este, como son:

Los colores oscuros, en aquellos suelos con bajo contenido de materia orgánica, pueden indicar la presencia de complejos de materia orgánica con óxidos de hierro, de carbón, de óxidos de manganeso y/o de magnetita. Los colores rojos indican buen drenaje y buena aireación, así como intensa meteorización y evolución, la mayoría de las veces. Los colores grises a blancos pueden mostrar contenidos importantes de cuarzo, caolinita u otras arcillas silicatadas, carbonatos de Ca y/o Mg, yeso, sales, óxido ferroso, y pueden indicar condiciones en el suelo sobre la materia orgánica, arcillas y sesquióxidos de Fe y Al, que son característicos de horizontes sometidos a procesos intensos de eluvación. Los moteos, generalmente se presentan en suelos con problemas de mal drenaje. En algunos suelos se puede llegar a presentar el color del material parental, presentando así colores litocrómicos. Esto puede estar relacionado con un bajo grado de alteración del material original del suelo o con la presencia de materiales parentales muy oscuros, como en el caso de lutitas negras, que le transmiten al suelo este color o con una baja incorporación de materia orgánica. Los climas secos favorecen la expresión de colores litocrómicos en el suelo.

Generalmente el color del suelo se ha utilizado como un criterio de clasificación, incluso el sistema taxonómico americano (Soil Survey Staff, 1998) lo ha empleado para tal fin. En la taxonomía se usa el color para definir algunas características diagnósticas, así como algunos taxa.

Los epipedones como mólico, úmbrico, antrópico, melánico y ócrico deben cumplir requisitos de color en su definición y diferenciación.

Algunos endopedones (ágrico) o los materiales que los caracterizan (materiales espódicos, álbicos, etcétera) están definidos por el color.

El régimen ácuico y las condiciones de reducción imprimen al suelo características particulares de color: colores grises y/o moteados.

Para la determinación del color con fines prácticos se hace una comparación del color del suelo (una muestra) con un catálogo de colores ordenados en secuencias específicas, contenidas en una libreta conocida como “tabla de colores de Munsell”. La Tabla de Munsell es un catálogo que agrupa una serie de colores que sirven para calificar el color del suelo. En este sistema de

evaluación del color, este atributo se caracteriza mediante tres parámetros: Matiz (Hue), Claridad o brillo (Value) y Pureza (Chroma).

## COEFICIENTE DE EXTENSIBILIDAD LINEAL (COLE)

Este parámetro es una medida que nos permite conocer la expansión potencial del suelo a partir de la variación generada en el volumen de un suelo específico en diferentes estados de humedad. Cuando el suelo está en estado de saturación y después se somete a un proceso de secado este sufre una expansión y contracción que genera un cambio fraccional en las dimensiones de los terrones cuando pasan de un estado a otro (Commegna, Aguirre y Santamaría, 1993).

Esta determinación está basada en la diferencia de longitudes entre una muestra de suelo en estado húmedo y seco. Sin embargo, el método no puede aplicarse en algunos suelos específicos como los Andisoles e Histosoles ya que estos poseen una contracción irreversible.

El coeficiente de extensibilidad lineal puede usarse para hacer algunas interferencias relacionadas a la estabilidad dimensional del suelo y la mineralogía que poseen las arcillas. La propiedad que poseen los suelos para expandirse y contraerse es de gran importancia para las características físicas del suelo, además de que sirve para interpretar los procesos genéticos del mismo. Cuando un suelo posee la capacidad de reducción y su expansión en variables condiciones de humedad, este es un suelo expansivo.

## ESTABILIDAD DE AGREGADOS

Un agregado del suelo es un grupo o conjunto de partículas donde las fuerzas de unión entre si superan a las existentes entre este y otros grupos adyacentes y por estructura al arreglo u ordenamiento espacial de los agregados y poros en el suelo (Oades, 1984). En los suelos donde las partículas están agregadas, el diseño y la perdurabilidad del espacio poroso dependen en gran medida de la forma, tamaño, distribución y estabilidad de los agregados (Lynch, Bragg 1985; Quirk, Murray, 1991), esto ocasiona que el movimiento y disponibilidad del agua y el aire en estos suelos, puedan estar influenciados por el estado de agregación.

La naturaleza de la estabilidad de los agregados depende de la relativa cantidad y fuerza de varios tipos de asociaciones órgano- minerales y agentes de enlace (Jastrow, Miller y Lussenhop 1998). La macro agregación es controlada por el manejo (Oades 1984) ya que la ruptura de los agregados de gran tamaño, producto de la cantidad, frecuencia e intensidad de las labores, expone a la descomposición de materia orgánica relativamente lábil previamente protegida, dando origen a combinaciones variadas de elementos orgánicos con diferentes tasas de ingreso y reciclado que afectan las fuentes productoras de agentes enlazantes y sustancias adhesivas orgánicas.

Los microagregados (<250  $\mu\text{m}$ ) por su parte, no son alterados por el humedecimiento ni por disturbios mecánicos incluyendo las labores de labranza (Tisdall, Oades 1982). La estabilidad de estos agregados depende de la fuerza con que las arcillas y otros componentes inorgánicos de los suelos son sorbidos a la materia orgánica particulada (MOP), residuos microbianos y

otros coloides orgánicos y compuestos de origen microbiano (Jastrow, Miller y Lussenhop, 1998).

## pH DEL SUELO

El pH óptimo de los suelos agrícolas debe variar entre 6.5 y 7.0 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad (Prasad and Power, 1997). Este parámetro tiene gran influencia en el crecimiento de las plantas, pues afecta directamente en la nutrición de estas. Interviene en la tasa de liberación de nutrientes por meteorización, en la solubilidad de todos los materiales del suelo y en la cantidad de iones nutritivos almacenados en los sitios de intercambio catiónico. El pH nos sirve como una herramienta que nos permite predecir cuales son los nutrientes que pueden encontrarse en estado deficitario.

Algunos materiales parentales son tan polares en ciertos elementos que su deficiencia se proyecta independientemente de los valores del pH, estas deficiencias solo pueden cubrirse mediante la aportación de fertilizantes, y para problemas nutricionales se tienen dos opciones: aplicar enmiendas para llevar el suelo a un pH más favorable o usar abundantes fertilizantes para superar la deficiencia sin importar el pH. Las exigencias nutritivas varían según la especie de planta que se encuentre cultivada, lo cual hace que las exigencias del pH también sean variables para cada caso. Generalmente el pH óptimo para la vegetación está entre 6.0 y 7.5, ya que en este intervalo los nutrientes son más accesibles. Existen excepciones en aquellas plantas que proliferan en ambientes ricos en hierro, como las fresas, las cuales requieren suelos con un pH entre 5.0 y 6.0.

La mayoría de los compuestos minerales de nitrógeno y azufre suelen ser muy solubles a cualquier pH por lo que tienden a perderse rápidamente por lavado, por lo tanto, el suministro de estos proviene de fuentes orgánicas y se halla limitado por la descomposición lenta de estos materiales. La tasa de mineralización de estos elementos a partir de la materia orgánica ocurre a valores de pH entre 6.0 y 8.0. El azufre presente en suelos con pH superior a 8.0 proviene en su mayoría de fuentes minerales orgánicas.

Los compuestos de fósforo en el suelo presentan baja solubilidad. Cuando se añaden fosfatos solubles en forma de fertilizantes, ocurren reacciones en el suelo que los transforman en materiales poco solubles, para una buena disponibilidad de fósforo en el suelo se necesitan tener un pH entre 6.5 y 7.5 para la mayoría de los casos. Los fosfatos de hierro y aluminio precipitan cuando el pH es bajo y los fosfatos lo hacen cuando el medio es extremadamente básico. Si el pH es superior a 8.5, los fosfatos se encuentran nuevamente disponibles, pues en condiciones muy alcalinas solo se dan en presencia de altos porcentajes de sales de sodio, y los fosfatos sódicos son solubles en agua.

El potasio es soluble en cualquier pH, pero tiende a ser eliminado del suelo por sorción. Parte de este elemento se mantiene en los sitios de intercambio, pero el resto es retenido de manera más firme. Cuando el suelo se lava se convierte en ácido haciendo que el potasio total y el disponible disminuyan. La elevación del pH mediante encalado puede llevar parte del potasio a posiciones no cambiables, disminuyendo así su accesibilidad.

En el caso del calcio y el magnesio son las bases que se encuentra de forma más abundante. Algunas veces se añaden al suelo en forma de enmiendas, pero rara vez se requieren como fertilizantes.

En el caso del hierro, el manganeso, el cobre y el cinc, forman cationes metálicos que precipitan en compuestos poco solubles al aumentar los niveles de pH. En suelos muy calizos o alcalinos pueden presentarse deficiencias de cualquiera de estos elementos, lo cual repercute negativamente en el crecimiento de la vegetación. Se pueden dar casos en los que después de encalar un suelo ácido se genere una deficiencia de hierro. La disponibilidad del hierro aumenta cuando el nivel de pH desciende pues se tiene demasiado hierro en el suelo y no puede agotarse por lavado. Los demás elementos de este grupo pueden ser eliminados fácilmente por lavado, produciéndose así deficiencias de ellos a un pH muy bajo.

En el caso del boro, este puede lavarse en un pH bajo y es muy poco soluble a un pH elevado, pero al tratarse de un elemento que suele ser abundante en los suelos alcalinos, su deficiente solubilidad no representa ningún problema. Las deficiencias de boro se presentan normalmente en suelo que están formados a partir de materiales muy pobres en este elemento.

Los valores de pH superiores a 8.5 indican abundancia de  $\text{Na}^+$  y una probable dispersión de coloides del suelo. Los suelos muy salinos suelen tener niveles de pH entre 7.5 y 8.0 y las sales que contienen son solubles. La presencia de sales solubles en exceso representa una abundancia de nutrientes en el suelo. Sin embargo, los suelos salinos suelen tener una limitada disponibilidad de agua para las plantas. El efecto osmótico de las sales genera dificultad para la absorción del agua por parte de la vegetación. Las sales solubles pueden eliminarse por lavado, pero es necesario contar con un suelo que tenga un buen drenaje y un abundante suministro de agua.

## TEXTURA

La textura es la combinación y distribución de diferentes tamaños de partículas elementales que conforman el suelo (Álvaro G. J., 2019). La textura es una propiedad única de la fase sólida del suelo, específicamente de la fracción inorgánica y que depende del material parental del suelo.

Podemos definir a la textura como aquella propiedad que establece cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm. Estas partículas se agrupan por tamaños siendo las partículas de arena las de mayor diámetro, seguidas por el limo y arcillas respectivamente.

Si la proporción de los elementos que constituyen el suelo le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición se puede decir que el suelo tiene una buena textura.

El tamaño de las partículas que predominan determina la textura del suelo. Un suelo es de textura gruesa cuando las partículas predominantes son de tamaño grande; cuando las partículas predominantes son las de menor tamaño el suelo es de textura fina. Los separados que predominan en el suelo son quienes determinan la naturaleza de los suelos pues estas diferentes partículas difieren bastante en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas.

La textura del suelo tiene especial significado en cuanto a la aireación, movimiento del agua, retención de humedad, retención y liberación de iones, disponibilidad de nutrientes y con ellos en su productividad, erodabilidad, uso y manejo de este.

La textura del suelo se origina desde su formación. El suelo tiende a ser arcilloso, limoso o arenoso si la roca madre que lo formó era arcillosa, limosa o arenosa si hablamos de rocas sedimentarias y sedimentos; si la roca madre se presenta al estado de roca consolidada y coherente entonces esta será capaz de producir los elementos de composición del suelo durante su curso de alteración. Esta misma tendencia puede contrarrestarse o ser favorecida por la evolución.

El suelo puede enriquecerse con humus cálcico y estabilizarse, o descalcificarse y ser lixiviado y así la proporción de arcilla disminuye en la superficie y aumenta en la profundidad. El humus puede dar lugar así a migraciones capaces de transformar radicalmente la textura original. Cuando ocurre esta evolución la alteración de la roca madre puede continuar, o en caso contrario detenerse.

La evolución de la roca madre y los procesos de humificación influyen drásticamente en la textura del suelo, ya que esta depende de los diversos grados de su naturaleza y de los procesos de evolución del suelo. La textura del suelo es finalmente el resultado de la acción de los factores de formación de suelo y su intensidad de acción.

La formación del suelo se cimienta en modificaciones estructurales de los minerales primarios y en la creación de nuevas estructuras silicatadas, pues estas conforman gran parte de las arcillas del suelo. La cantidad de minerales y arcillas en un suelo determinarán la superficie específica y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que a su vez tiene efecto en la fertilidad y nos indicará tanto la génesis como el posible uso que podría destinarse a dicho suelo (Rucks, L. et al. 2004).

Entre los minerales presentes en el suelo los de mayor presencia son los silicatos, los cuales son minerales típicos de las arcillas, aunque también se les puede encontrar en más del 90% de las rocas que conforman la corteza terrestre.

Las arcillas cumplen un papel de suma importancia en la fertilidad de los suelos ya que intervienen directamente en la capacidad de intercambio catiónico, además de que permiten tener una mayor superficie específica, según su estructura, lo cual contribuye a la retención de humedad o evitar el lavado de nutrientes a causa de las aguas que se infiltran en las capas del suelo, por su lado los suelos limosos poseen una gran capacidad de retención de agua la cual está disponible para desarrollo de las plantas (Buckman y Brady, 1966).

Un aspecto negativo de las arcillas es que dificulta las labores agrícolas cuando se encuentra en mayor porcentaje que las fracciones de limo y arena. Cuando una arcilla es más fina podrá retener mayor cantidad de agua, pues esto dificulta el libre flujo de esta por los espacios intersticiales. Esto en los suelos crea un ambiente anóxico que para las plantas es grave pues no permite el intercambio gaseoso y la respiración radicular, provocando así la muerte de la

planta o facilitando la aparición de enfermedades del tipo fungosas y bacterianas (Chavarría, F. 2009).

Los rangos de variación que existen en las clases texturales se representan en el triángulo textural. La nomenclatura utilizada para nombrar las clases texturales ha sido establecida por la USDA (Soil Survey División Staff, SSDS, 1993). Para determinar la clase textural de un suelo específico deben ubicarse los porcentajes de arena, limo y arcilla en el respectivo eje del triángulo, se proyecta en el dicho valor, siguiendo la dirección indicada por la flecha, hasta que las tres líneas se intercepten determinando un punto; la clase en la cual queda comprendida dicha intersección es la clase textural del suelo analizado.

Para definir una clase textural se utiliza un término que implica el separado dominante en la textura. El suelo franco es aquel cuyos separados están en porcentajes de forma que no predomina ninguna de las propiedades de ambos agregados. Para las plantas, la clase textural de un suelo franco es quien presenta un mejor equilibrio entre sus separados.

## PORCENTAJE DE SATURACIÓN

Este parámetro permite medir el contenido de agua en el suelo cuando este se encuentra en estado de saturación, es decir, cuando todos los espacios porosos del suelo se encuentran totalmente llenos de agua. En suelos que poseen un buen drenaje este es un estado temporal debido a que el exceso de agua se drena de los poros grandes por acción de la fuerza de gravedad haciendo que estos espacios se llenen con aire.

La saturación del suelo se considera cuando se alcanza el máximo volumen de agua que el suelo puede retener y además es afectado por el tipo y cantidad de arcilla, además de la cantidad de materia orgánica que posee el suelo.

El porcentaje de saturación de un suelo generalmente se encuentra desde el 10% para suelos con arenas gruesas y de hasta 150% para aquellos que tienen un alto contenido de arcillas y los Histosoles que tienen un gran contenido de materia orgánica.

La condición de suelo saturado se origina cuando los espacios vacíos del suelo están ocupados por agua (Díaz, 2018).

Conocer el porcentaje de saturación en un suelo nos permite conocer la cantidad de agua que este puede retener, esto permite conseguir mejores rendimientos en los cultivos al implementar programas de riego adecuados logrando una mejor eficacia en la adición de agua, obteniendo un buen desarrollo de las plantas y con ello mejorando su rentabilidad y mejor aprovechamiento de los recursos.

## CARBONO ORGÁNICO

Cuando hablamos del carbono orgánico presente en el suelo nos referimos a una parte importante del ciclo del carbono. Ya que este ocupa el 69.8% de carbono orgánico de toda la biosfera (FAO, 2001). Dependiendo del manejo y utilidad que se le dé al suelo, este puede funcionar como una fuente de carbono.

De acuerdo con Reicosky (2002) se estima una pérdida del carbono orgánico del suelo de entre 30 y 50% desde que se incorporan suelos nuevos a la agricultura hasta el momento de fijar sistemas intensivos de cultivo. En los suelos destinados a la actividad agrícola se tiene pérdida de material húmico, cuando está perdida es mayor a la tasa de formación del humus de los suelos no perturbados, bajo aplicaciones convencionales de cultivo, el suelo una fuente de  $\text{CO}_2$  para la atmósfera.

El carbono orgánico contenido en los suelos está estrechamente vinculado a la sustentabilidad de los sistemas de cultivo pues afecta las propiedades del suelo que influyen en el rendimiento sostenido de los cultivos. El carbono orgánico, además, se relaciona con la cantidad y disponibilidad de nutrientes en el suelo, ya que aporta elementos como el nitrógeno el cual suele encontrarse en escasos. También altera la acidez y alcalinidad del suelo, acercándolo a la neutralidad, aumentando así la solubilidad de algunos nutrientes del suelo.

La capacidad de intercambio catiónico también se ve beneficiada por la presencia del carbono orgánico asociado a la materia orgánica del suelo pues este libera coloides disponibles para intercambiar en suelo. El efecto del carbono orgánico en las propiedades físicas del suelo se manifiesta mediante la alteración de la estructura y distribución del espacio poroso del suelo. Algunas prácticas de manejo generan un deterioro o disminución del carbono orgánico del suelo con el paso del tiempo, pero también existen prácticas que estimulan la acumulación de este. La captura del carbono en el suelo se puede estimular con algunas prácticas agrícolas. Los trabajos de labranza de conservación (Lal, 1997) y la cero labranza (FAO, 2001) son un sistema de manejo de suelo con una gran capacidad potencial para capturar carbono en el suelo. El carbono orgánico presente en el suelo interfiere con la mayoría de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que están relacionadas con su productividad, sustentabilidad y calidad, por lo que es ideal tener un manejo sustentable del recurso y poder mantener los niveles de carbono orgánico o aumentarlos de ser posible.

Generalmente el suelo posee mayor cantidad de carbono que la suma existente entre la vegetación y la atmósfera (Swift, 2001) y puede encontrarse de manera orgánica e inorgánica.

El carbono orgánico en el suelo se encuentra en los residuos orgánicos que están poco alterados provenientes tanto de vegetación, animales y microorganismos, ya sea en forma de humus e incluso en formas demasiado condensadas de composición muy cercanas al carbono elemental (Jackson, 1964). Sin embargo, en condiciones naturales el carbono orgánico del suelo es el resultado del balance de la incorporación al suelo de la materia orgánica fresca y la pérdida de carbono del suelo en forma de  $\text{CO}_2$  hacia la atmósfera, además de los procesos de erosión y lixiviación. Bajo condiciones aeróbicas, parte del carbono orgánico que ingresa al suelo es inestable y se mineraliza rápidamente, mientras otra pequeña parte se va acumulando en forma de humus estable. Todo el  $\text{CO}_2$  que se emite desde el suelo hacia la atmósfera se produce de la materia orgánica del suelo por acción de la fauna edáfica y macroorganismos del suelo, pero también se genera a partir del metabolismo de las raíces de las plantas (Fortín et al, 1996).

## MATERIA ORGÁNICA

Al conjunto de residuos orgánicos tanto de origen vegetal como animal, que se encuentran en distintas fases de descomposición, que se acumulan en la superficie y dentro del perfil de suelo es lo que se conoce como materia orgánica del suelo (Rosell, 1999) la materia orgánica también incluye una fracción viva la cual se encarga de la descomposición y transformación de todos los residuos orgánicos. El elemento principal que conforma la materia orgánica del suelo es el carbono orgánico, por lo que es común llegar a confundir ambos términos.

Una de las funciones de la materia orgánica es la de contribuir al crecimiento vegetativo a través de sus modificaciones a las propiedades físicas, químicas y biológicas en el suelo. Su función se deriva mediante la aportación nutricional de elementos como el nitrógeno, el fósforo y el azufre, indispensables para el crecimiento de la vegetación. Tienen un efecto biológico que tienen afectaciones directas en la microflora y microfauna del suelo, y un efecto físico en el que altera y propicia una buena estructura del suelo, mejorando así las tareas de labranza, aireación y retención de humedad.

La materia orgánica posee una parte que se distingue por ser muy lábil, que se encuentra disponible como fuente de energía, manteniendo las mismas características químicas del material de origen. También posee una fracción húmica más estable, conformada por huminas, ácidos fúlvicos y húmicos. Estas fracciones se obtienen por la solubilización dentro de medios alcalinos o ácidos, y se encuentran limitados por la presencia de algunos componentes no húmicos que son extraídos en conjunto con la fracción húmica. En la composición de la materia orgánica las sustancias húmicas dominan su conformación representando al menos el 50% de esta. En el planeta, las sustancias húmicas son el material orgánico que más abunda en el medio ambiente. A su vez, en la fracción húmica, el componente más abundante son las huminas. Quienes conforma una amplia variedad de compuestos químicos que son insolubles en un medio acuoso, además que contienen algunos compuestos no húmicos como esterres, cadenas de hidrocarburos y estructuras polares, algunas de origen microbiano como polisacáridos y glomalina relacionados estrechamente con los minerales del suelo.

El humus tiene un papel importante sobre el suelo ya que indirectamente afecta los procesos de absorción de micronutrientes por parte de las plantas, así como la dinámica de los herbicidas y otros productos de uso agrícola.

La disponibilidad de los nutrientes en el suelo para el crecimiento de la planta es un efecto en el que interviene tanto de forma directa e indirecta la presencia de la materia orgánica (Martínez, Fuentes y Acebedo, 2008). La materia orgánica influye en el aporte de nutrientes desde otras fuentes, mediante la mineralización de elementos por acción de los microorganismos de suelo. Para la fijación bacteriana de nitrógeno es necesaria la presencia de materia orgánica, pues esta funge como fuente de energía para realizar dicho proceso, por lo tanto, la cantidad de nitrógeno molecular que es fijado será influenciada mediante el porcentaje de energía disponible en forma de carbohidratos.

Siempre que un suelo se destina a ser cultivado, al principio, el contenido de humos desciende a lo largo de un periodo de 10 a 30 años, hasta el momento de alcanzar un nuevo punto de

equilibrio. Cuando se tiene dicho equilibrio algunos nutrientes que han sido liberados por la acción microbiana deben ser compensados mediante la incorporación de cantidades iguales dentro del humus que ha sido formado recientemente.

El humus también repercute fuertemente en la estructura del suelo. El laboreo intenso deteriora la estructura del suelo y tiene un menor impacto en suelo con un aporte significativo de humus. Si el humus se pierde el suelo es propenso a volverse duro, compacto y terronoso. Si los niveles de humus son adecuados, las tareas de laboreo se vuelven más fáciles de realizar.

La materia orgánica del suelo tiene efectos sobre el suelo, como la alteración de los niveles de pH, ya que posee grupos activos que aportan cierto nivel de acidez.

## CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

El suelo en su estado natural contiene diversas cantidades de sales disueltas, por lo que la conductividad eléctrica en casos extremos puede tener un valor muy bajo, pero jamás estará ausente, ya que la conductividad eléctrica en el suelo es una forma indirecta de medir la salinidad de este.

La conductividad eléctrica indica la capacidad que tiene un suelo para conducir corriente eléctrica, aprovechando las sales presentes del suelo. Cuando un valor de CE es alto, indicaría que el suelo contiene una concentración elevada de sales (Castellanos, 2000). Las sales presentes en el suelo generalmente son solubles en agua y son aprovechadas por distintos organismos que se benefician de ellas, sin embargo, un exceso en los niveles de salinidad puede afectar significativamente a la actividad microbiana y el crecimiento de las plantas.

Dependiendo de diversos factores, la conductividad eléctrica puede variar en un amplio rango, pues los factores formadores del suelo poseen distintos elementos, es decir el material de origen de cada suelo define hasta cierto punto los niveles de salinidad y por tanto su conductividad eléctrica. En las zonas áridas, debido a la poca precipitación pluvial, las sales presentes en el suelo no fueron lavadas durante el proceso de formación de suelo, por lo que se fueron acumulando con el pasar del tiempo resultando así suelo con una alta conductividad eléctrica. Otro factor que condiciona una conductividad eléctrica elevada es la topografía, pues las corrientes pluviales lavan las sales de las zonas más altas y estas se fueron acumulando en las zonas más bajas del paisaje.

De una forma general podemos decir que la textura y del suelo y las condiciones climáticas de un determinado lugar determinan la salinidad del perfil de suelo de cada zona en específico y con ello su conductividad eléctrica.

Todas las sales disueltas presentes en el suelo tienen diferentes cargas, las cuales generan iones tanto positivos como negativos, los cuales retienen a las moléculas de agua generando cierta resistencia que se contrapone a la fuerza que ejercen las plantas para absorber el agua del suelo. La salinidad de un suelo genera un efecto desecante que reduce significativamente la disponibilidad de agua para la vegetación.

Un suelo con alta conductividad eléctrica no es beneficioso para las plantas pues limitan su crecimiento, generando así cierta tolerancia en cada especie bajo estas condiciones. Algunos de los iones presentes en el suelo, como el sodio, pueden llegar a generar efectos tóxicos para las plantas cuando existe una alta concentración de ellos, pudiendo llegar incluso a generar problemas de la estructuración del perfil de suelo.

Los sistemas de riego pueden ser un factor determinante de acumulación excesiva de sales, generando una gran salinización por diferentes procesos cuyo grado difiere dependiendo de los sistemas de riego que se apliquen, así como de la calidad de agua que se utiliza. Otra variable que puede llegar a incrementar la salinidad del suelo es la aplicación de excesiva de fertilizantes con alta conductividad eléctrica. Hacer un monitoreo periódico de la conductividad eléctrica sería ideal para poder aplicar medidas específicas a cada caso y así minimizar los efectos negativos de la salinidad en los cultivos.

## CARBONATOS

Los carbonatos son minerales que tienen una composición química correspondiente a sales derivadas del ácido carbónico. Son provenientes de procesos de acumulación y por el uso de agua de riego salina. Los carbonatos más comunes son el de calcio, de sodio y de magnesio (Ibáñez, 2007).

En el suelo los carbonatos generalmente se encuentran en aquellas regiones que son áridas y semiáridas, ya que en estas zonas hay una precipitación pluvial muy baja favoreciendo la acumulación de carbonatos dentro del perfil de suelo, por lo que la presencia de carbonatos son una característica natural de estas zonas. Los efectos de los carbonatos en el suelo son la alteración del pH, volviéndolo más alcalino, además de que reducen la disponibilidad de algunos elementos presentes en el suelo, como lo son los micronutrientes como el Fe y el Zn pudiendo también afectar la disponibilidad del Cu y Mn. Otro de los efectos de los carbonatos es el de reducir la disponibilidad de fósforo ya que se da lugar la formación de fosfatos insolubles de calcio.

Cuando la concentración de carbonatos en el perfil de suelo está entre 0-2% el suelo está prácticamente libre de estos. Debido a esta condición en el suelo, no se recomienda la adición de ácidos ya que, por su baja capacidad de amortiguamiento, si se tiene algún exceso de ácido es posible generar un efecto contrario en el suelo y provocar un cambio brusco de un pH alcalino a uno ácido. Cuando la concentración de carbonatos va de 2-5% se trata de un suelo ligeramente calcáreo. Estos suelos requieren fuentes de nutrientes de reacción ácida como son los sulfatos, pero deben tomarse en cuenta posibles problemas que puedan presentarse con el Fe y Zn. Si las concentraciones de carbonatos del suelo van del 5-10% se trata de un suelo moderadamente calcáreo, el cual necesita de un manejo con fuentes de nutrientes de reacción ácida, pero deben considerarse probables dificultades con Cu, Mn, Fe y Zn. Un suelo calcáreo tiene una concentración de carbonatos entre 10-20%, puede presentarse fijación de fósforo y generar una baja disponibilidad de Cu, Fe, Zn y Mn. En los casos de suelos donde se tienen niveles de carbonatos de 20-40% el suelo es altamente calcáreo, en donde pueden presentarse problemas de fijación de fósforo y anticipar poca disponibilidad de Cu, Fe, Zn y Mn. Es recomendable utilizar únicamente fuentes de nutrientes de reacción ácida para así disminuir los

efectos de la elevada concentración de carbonatos. Los suelos cuya concentración de carbonatos es mayor al 40% son extremadamente calcáreos, los cuales puede presentar fijación de fósforo y tener una deficiencia de micronutrientes. Para disminuir el efecto de la gran concentración de carbonatos deben aplicarse fuentes de micronutrientes de reacción ácida.

Las fuentes de reacción ácida se recomiendan en todos los suelos calcáreos, en una forma localizada y sin intentar neutralizar el suelo mediante la aplicación de ácido sulfúrico pues serían necesarias cantidades muy grandes para cuyo uso no están permitidas en la neutralización de suelos.

## BICARBONATOS

La salinidad del suelo se origina por la presencia de varios elementos como los bicarbonatos, los cuales son compuestos químicos de naturaleza alcalina, encontrados frecuentemente y a concentraciones significativamente altas en zonas áridas y semiáridas en donde la concentración de bicarbonatos es mayor en la superficie del suelo pues las bajas precipitaciones pluviales en estas zonas propician su acumulación en los primeros centímetros del perfil de suelo.

Los bicarbonatos son sales que presentan una elevada solubilidad, que puede variar dependiendo de la temperatura (Aguilar, 1969). Cuando en el suelo se tienen concentraciones de bicarbonatos relativamente elevadas se predisponen condiciones que generan alcalinidad en el medio, generalmente a niveles de pH mayores a 9, pues se da lugar a la formación de  $\text{OH}^-$ .

Dentro de la solución de suelo pueden encontrarse disueltas algunas sales que limitan la formación de bicarbonato sódico, por lo cual si la salinidad total es baja estas sales suelen encontrarse en abundancia.

Tanto los bicarbonatos como los carbonatos presentes en el suelo dan lugar a una fuerte alcalinidad que genera condiciones poco favorables para el crecimiento de la vegetación. Los bicarbonatos tienen un menor grado de alcalinidad que los carbonatos ya que el ácido carbónico actúa y neutraliza su efecto alcalino. La solubilidad de los bicarbonatos también es menor en comparación con la de los carbonatos.

## CLORUROS

El cloro es uno de los micronutrientes esenciales para las plantas y se encuentra en el suelo como anión cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), se considera un micronutriente por su bajo requerimiento para el desarrollo saludable de los cultivos, el cual oscila entre 0.2 - 0.4 g/kg de materia seca (Marschner, 2011). Los cloruros están presentes en el medio en concentraciones suficientes para satisfacer los requerimientos de las plantas en hábitats naturales y en la agricultura (White & Broadley, 2001; Raven, 2017).

Las deficiencias de cloro en el suelo no suelen ser comunes, pero al igual que los demás micronutrientes es posible adicionarlos al suelo por medio de fertilizantes.

En el suelo la concentración de cloruros suele estar regulada de forma natural ya que al tener carga negativa no son retenidos por las arcillas. Aquellos suelos que poseen una salinidad alta acumuladores de cloruros. Los cloruros son sales que se encuentran en todo tipo de suelo, pero mayormente en aquellos suelos salinos. Su presencia suele formar eflorescencias blancas en la superficie del suelo durante las estaciones secas.

El cloruro sódico es el que se encuentra con más frecuencia en los suelos. La presencia de cloruros en el suelo genera una toxicidad elevada dependiendo de la concentración en la que se encuentren, pudiendo formarse en suelos con un alto contenido de cloruro de sodio (NaCl) donde el sodio se intercambia por el magnesio adsorbido en las posiciones de intercambio dentro de la solución de suelo.

El cloruro de calcio posee una solubilidad muy alta, sin embargo, es una sal que se encuentra con poca frecuencia en el suelo gracias a la mayor estabilidad de otras sales cálcicas como lo son los sulfatos y carbonatos.

El cloruro es un anión cuya carga eléctrica es negativa, por tanto, no se adsorbe en las partículas del suelo y puede moverse con facilidad en la solución de suelo, por lo que su concentración en el perfil de suelo se ve afectado por la calidad y manejo del agua de riego. Cuando el agua de riego tiene una alta concentración de cloruros es necesario aplicar prácticas apropiadas de riego con el fin de mantener los niveles de cloruros en el suelo por debajo del umbral tolerado para los cultivos que se deseen implementar. Los cultivos en los que el agua de riego contenga menos de 150 mg de cloruros por litro de agua la concentración de cloruros será segura siempre que se apliquen prácticas adecuadas al manejo de riego.

Además del agua de riego los cloruros también se adicionan al suelo por medio de fertilizantes y las precipitaciones pluviales, siendo el agua de riego quien representa problemas por un alto contenido de cloruros si el agua no tiene una buena calidad para el fin que se le desea dar.

## CALCIO

Uno de los elementos más importantes para la nutrición de las plantas es el calcio, este es un catión divalente que posee un radio iónico hidratado de 0,412 nm con una energía de hidratación de 1577 J/mol. El contenido en calcio de los distintos suelos varía significativamente dependiendo de los materiales de origen y del grado en que la meteorización y la lixiviación han influido en el proceso de edafización (Makeyev y Berkgaut, 1989). Es uno de los nutrientes más abundantes en la superficie terrestre y cuya proporción es muy variada dependiendo de la roca madre que origino el suelo específico de cada zona. Tiene diversas formas minerales en las que podemos encontrarlo, pero las más comunes son los fosfatos, carbonatos, sulfatos y algunos silicatos. Estas formas minerales poseen una solubilidad muy variable entre sí.

Durante el complejo de cambio de suelo el calcio es el catión que más abunda, aunque el porcentaje utilizable está determinado por su grado de saturación. En la mayoría de los suelos podemos encontrar el calcio en sus formas naturales más comunes fijado en el complejo coloidal, así como unido a compuestos húmicos. Algunas especies vegetales son muy poco exigentes con la disponibilidad de calcio, por lo que incluso en suelos ácidos suelen existir

concentraciones de este elemento que permiten el óptimo desarrollo de estos cultivos. En las regiones que poseen condiciones húmedas y templadas el calcio suele encontrarse en mayor cantidad que el potasio intercambiable.

Existe una variabilidad en el contenido de los iones totales dentro de la solución del suelo, aunque generalmente su concentración va del 60-80% del contenido total. El sistema radicular de las plantas aprovecha menos del 3% del calcio disponible en el suelo, por lo que las cantidades presentes de este son idóneas para satisfacer las exigencias de los cultivos.

Los iones de calcio que se encuentran en la solución del suelo tienen la capacidad de reaccionar con los iones fosfatos, dando lugar a la formación de precipitados de distinta solubilidad.

Los cultivos suelen tener distintos requerimientos de calcio los cuales dependen de la especie vegetal, pudiendo clasificarlos de acuerdo con estas especificaciones. El primer grupo es el de las especies calcícolas que son aquellas plantas que requieren medios de cultivo donde abunden los iones de calcio. El segundo grupo lo conforman aquellas especies vegetales que proliferan de manera óptima cuando las formas más o menos solubles de calcio son escasas y el complejo absorbente se encuentra poco saturado. A las especies de este último grupo se les llama acidófilas.

## MAGNESIO

Otro de los elementos presentes en la solución del suelo es el magnesio, el cual una parte se encuentra en forma de iones de  $Mg^{2+}$  y otra fracción que es intercambiable por estar electrostáticamente fijada al material orgánico y minerales arcillosos, donde su liberación depende de la absorción de un ion  $Mg^{2+}$  dentro de la solución del suelo y que debe encontrarse en equilibrio con la fracción intercambiable.

Las fracciones de magnesio más abundantes en el suelo son las de magnesio no intercambiable el cual está fijado en minerales y rocas, el magnesio intercambiable que esta absorbido por la materia orgánica y minerales arcillosos los cuales son superficies cargadas negativamente y el magnesio presente en la solución del suelo.

Existen factores como el clima, el pH, la temperatura y humedad, así como la presencia de algunos cationes, que tienen influencia en un proceso dinámico que caracteriza el estado del magnesio en el suelo alrededor del 90 y 99% del magnesio total del suelo, se sitúa en las rocas y minerales primarios, además de encontrarse en concentraciones más altas que las absorbidas por las plantas, aunque esta es únicamente la reserva de donde el magnesio se vuelve disponible por influencia de elementos naturales.

El magnesio es parte de la molécula de clorofila por lo que es esencial en el proceso de fotosíntesis para la producción de carbohidratos (Tisdale y Nelson, 1993), además tiene una gran influencia en el peso del grano y responsable del color verde de la planta. Los niveles de potasio y la temperatura del suelo influyen la nutrición de las plantas con magnesio (Singh y Pathak, 2003). El magnesio intercambiable normalmente representa el 5% del magnesio total y que es absorbido por la materia orgánica y minerales arcillosos, es fácilmente liberado por cationes como  $K^+$  y  $Ca^{2+}$ . La liberación de esta fracción de magnesio suele ser un proceso lento

y no satisface las necesidades de los cultivos de crecimiento rápido. La proporción que se suministra a las plantas, de la fracción disponible de magnesio, está condicionada por la capacidad de intercambio catiónico, por lo que depende directamente del potencial que posee el suelo para absorber y liberar magnesio, así como otros cationes del mismo complejo absorbente, el cual está establecido por la textura y tipo de suelo.

El magnesio presente en la solución del suelo, así como el intercambiable forman en conjunto el magnesio disponible para la vegetación. El sistema radicular de las plantas absorbe únicamente el magnesio presente en la solución del suelo, la cual a su vez es reabastecido por el magnesio de la fracción intercambiable.

Un suelo con bajos niveles de pH y capacidad de intercambio catiónico poseen un bajo potencial de almacenamiento de magnesio disponible.

El magnesio da el color verde a las plantas y la nutrición de estas se ve influenciada por los niveles de potasio y la temperatura del suelo (Singh y Pathak, 2003). Funciona como átomo central de la molécula de clorofila, siendo esta su función principal en las plantas, aunque proporción ligada a la clorofila es únicamente el 15% del total, una cantidad relativamente pequeña y dependiente del suministro. El magnesio participa también en la reacción de carboxilasa de la fotosíntesis, fungiendo como una coenzima en la fijación de  $CO_2$ . El magnesio también se ve involucrado en el balance catión-anión, siendo responsable de la regulación de los niveles de pH y el ajuste de la turgencia de las células de las plantas. Una fracción del magnesio funge como elemento estructural para formar la pared celular. El magnesio que no se encuentra fijado en estructuras de la clorofila o paredes celulares, tiene una gran movilidad dentro del cuerpo de la planta y se transloca fácilmente entre los tejidos y hojas, tanto viejos como jóvenes, como os son los frutos y semillas. De esta forma la deficiencia de magnesio en el suelo se manifiesta visualmente en las hojas de mayor antigüedad.

## ACIDEZ EXTRAÍBLE

La acidez extraíble es la sumatoria de los iones  $H^+$  y  $Al^{3+}$  las cuales ocupan posiciones de intercambio al pH del suelo (Casanova, 1999). Estos iones son retenidos por cargas negativas de la fracción de arcillas presentes en el suelo.

En laboratorio, la acidez extraíble se puede liberar del suelo por acción de una solución de cloruro de bario y trietanolamina a un pH aproximado de 8.2 ya que este valor se aproxima al pH de un suelo con un contenido equilibrado de carbonato de calcio y el contenido normal de  $CO_2$  en la atmósfera.

Conocer el valor de la acidez generalmente tiene fines taxonómicos ya que funge como criterio en la clasificación de los horizontes superficiales del suelo, así como para la identificación de su orden. Cuando medimos la acidez extraíble estamos cuantificando el nivel de acidez que un suelo es capaz de liberar cuando es llevado a un valor específico de pH en campo. Tener conocimiento del valor de acidez extraíble también puede utilizarse para estimar magnitudes en el encalado de suelos ácidos.

## CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

La capacidad de intercambio catiónico es la capacidad que tiene el suelo para adsorber cationes. Es proporcional este parámetro a la carga negativa del suelo. Este parámetro determina la disponibilidad de espacio de almacenamiento para los cationes dentro del suelo. La capacidad de intercambio catiónico es un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora de los suelos y que es función de la cantidad y tipo de arcilla (Yong et al., 1990). Los cationes retenidos en la superficie, donde actúa la carga electrostática, por lo que estos cationes pueden intercambiarse por otros diferentes que puedan estar contenidos en la solución de suelo, de este modo los cationes se transforman en cationes intercambiables los cuales intervienen en la nutrición de las plantas.

Los cationes intercambiables de mayor índole, gracias a las proporciones que estos en el proceso, son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ . La capacidad de intercambio catiónico del suelo depende estrechamente de la proporción y tipo de coloides presentes en el. Una forma de definir la capacidad de intercambio catiónico del suelo es la sumatoria de la capacidad de intercambio catiónico de la arcilla más la capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica, ambas presentes en el suelo.

El pH es un parámetro que afecta la capacidad de intercambio catiónico, cuando el valor del pH aumente también aumenta la capacidad de intercambio catiónico. Si el contenido de arcilla y de los sesquióxidos aumenta en el suelo, aumenta drásticamente la capacidad de intercambio catiónico del suelo en proporción del cambio que se da en el pH. La capacidad de intercambio catiónico depende de los valores de pH del suelo.

Una de las aplicaciones que tiene conocer la capacidad de intercambio catiónico es la de hacer una estimación del potencial que posee un suelo para brindarle algunos nutrientes a la vegetación que se encuentren en él, pero es importante recalcar que esta capacidad es un valor representativo de las características del suelo, pero no toma en cuenta la cantidad o disponibilidad de los elementos que se encuentran presentes en el suelo.

Conocer la capacidad de intercambio catiónico, también permite poder clasificar a los suelos.

La vermiculita presenta la mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) teniendo un valor de 150 meq/100g, pero es superada por la arcilla montmorillonita en cuanto a superficie específica con valores de 750 m<sup>2</sup>/g y 800 m<sup>2</sup>/g respectivamente (Pinilla Quezada et al., 2008).

## NITRÓGENO TOTAL

El nitrógeno (N) es uno de los elementos más importantes para la nutrición de las plantas, el crecimiento microbiano y la degradación de la materia orgánica. Cuando el suelo tiene un alto contenido de nitrógeno, los microorganismos cuentan con suficiente sustrato para inducir mayor velocidad de mineralización, ya que satisfacen plenamente sus requerimientos de este elemento, por lo que no es un factor limitante para ellos. Cuando el contenido de nitrógeno es bajo, la tasa de descomposición de la materia orgánica se ve afectada y disminuye considerablemente, además la tasa de mineralización de carbono orgánico dependerá de la adición de fuentes nitrogenadas (Ferrera Cerrato y Alarcón, 2001).

En la agricultura el nitrógeno es proporcionado en su mayoría por la fertilización tanto de fuentes orgánicas como químicas, otra parte se incorpora por la lluvia fijación por acción de numerosos microorganismos y algunas plantas. De manera natural, las plantas son quienes más aportan nitrógeno al suelo.

La biomasa microbiana asimila una cantidad determinada del nitrógeno presente en el suelo, dependiendo de la relación carbono-nitrógeno (c/n). La cantidad de nitrógeno requerida por los microorganismos es 20 veces menor que la de carbono. Si existe una baja concentración de compuestos de carbono fácilmente degradables y una cantidad mayor de nitrógeno, con respecto a la requerida por la masa microbiana habrá una mineralización neta de nitrógeno con liberación de nitrógeno inorgánico disponible para las plantas (Diacono y Montemurro, 2010).

El nitrógeno debe pasar por un proceso de mineralización ya que más del 90% del nitrógeno total se encuentra en forma orgánica por lo cual no es directamente asimilable por las plantas.

Cuando el nitrógeno ha pasado por un proceso de mineralización, se convierte en nitrógeno mineral, y este se encuentra en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Ambas formas de nitrógeno son fácilmente asimilables por las plantas, aunque en su mayor parte es adsorbido en forma de nitrato ya que el amonio se encuentra adsorbido en el complejo de cambio y está fijado en las en algunas arcillas o en la solución del suelo. El amonio fijado no es fácilmente intercambiable, aunque la acción de ciertos cationes provoca la expansión de las arcillas, liberando así al amonio y pasando a formar parte de la solución del suelo. El nitrato por su parte se encuentra libre en la solución del suelo por lo que es asimilado directamente por microorganismos y plantas.

Cierta cantidad del nitrógeno total es arrastrado a horizontes más profundos del suelo por pluviometría o exceso de riego. En el caso del nitrato su lixiviación depende de la intensidad de las lluvias, frecuencia de riego, la capacidad de retención de humedad del suelo, así como de la vegetación y su sistema radicular. En las épocas de sequía, los movimientos ascendentes del agua a la superficie del suelo también pueden propiciar el ascenso de los nitratos.



Antes de elegir las zonas específicas de muestreo se consultó la carta edafológica de la zona para seleccionar un área donde con un mismo tipo de suelo y así poder ubicar terrenos dentro de esta área con las características deseadas.

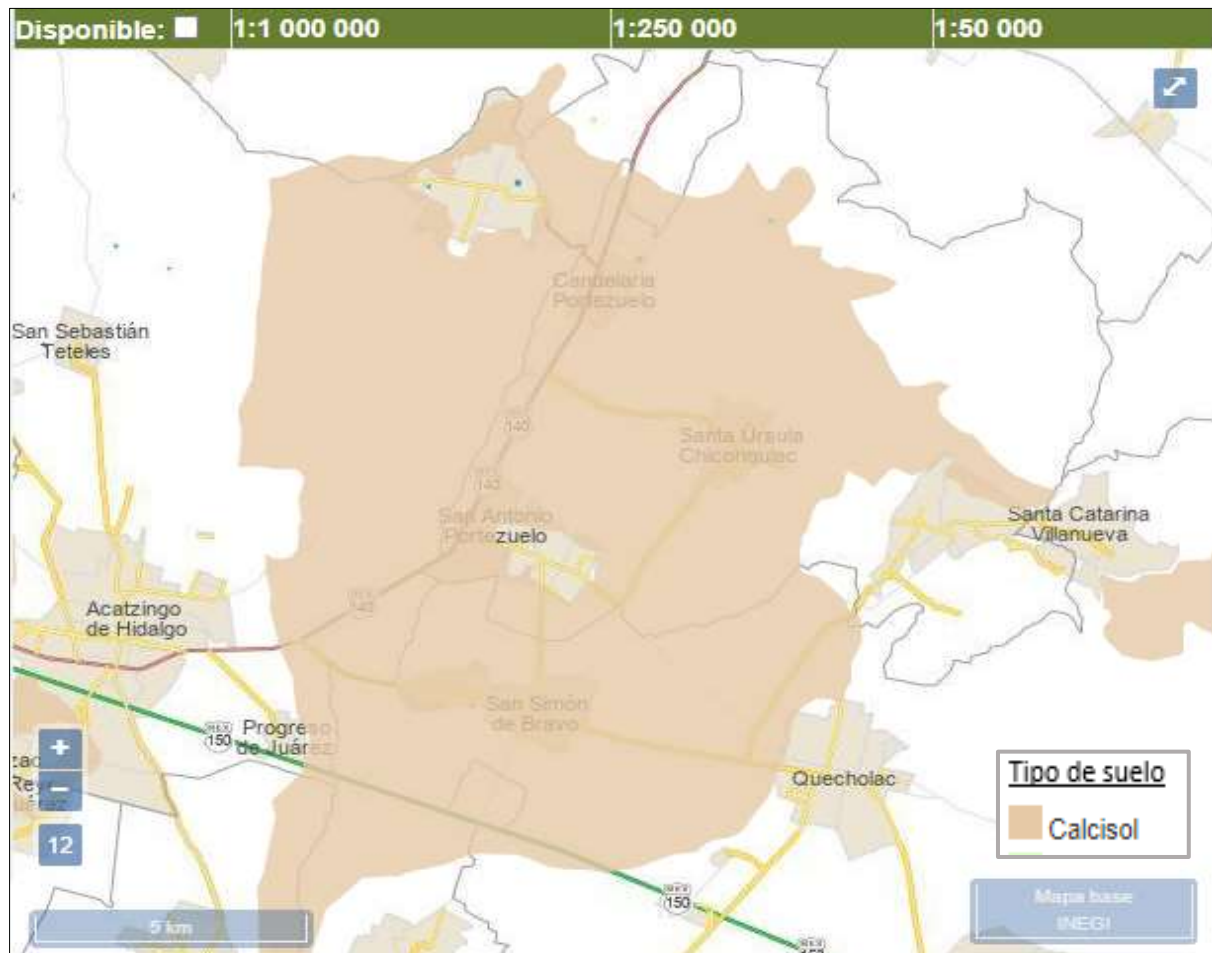


Figura 2. Tipo de suelo dominante en el municipio de General Felipe Ángeles. Fuente INEGI

Se eligieron dos terrenos de cultivo, uno que ha sido destinado durante un largo periodo al cultivo de riego y otro que ha sido empleado para el cultivo temporal durante todo su lapso de aprovechamiento. Para tener un punto de referencia en cuanto a los diferentes parámetros físicos y químicos del suelo se seleccionó también un barranco, ya que es una zona de difícil acceso y jamás ha sido explotado por el ser humano para ninguna actividad. En la figura 4 se puede observar la ubicación geográfica de estos tres sitios de muestreo.

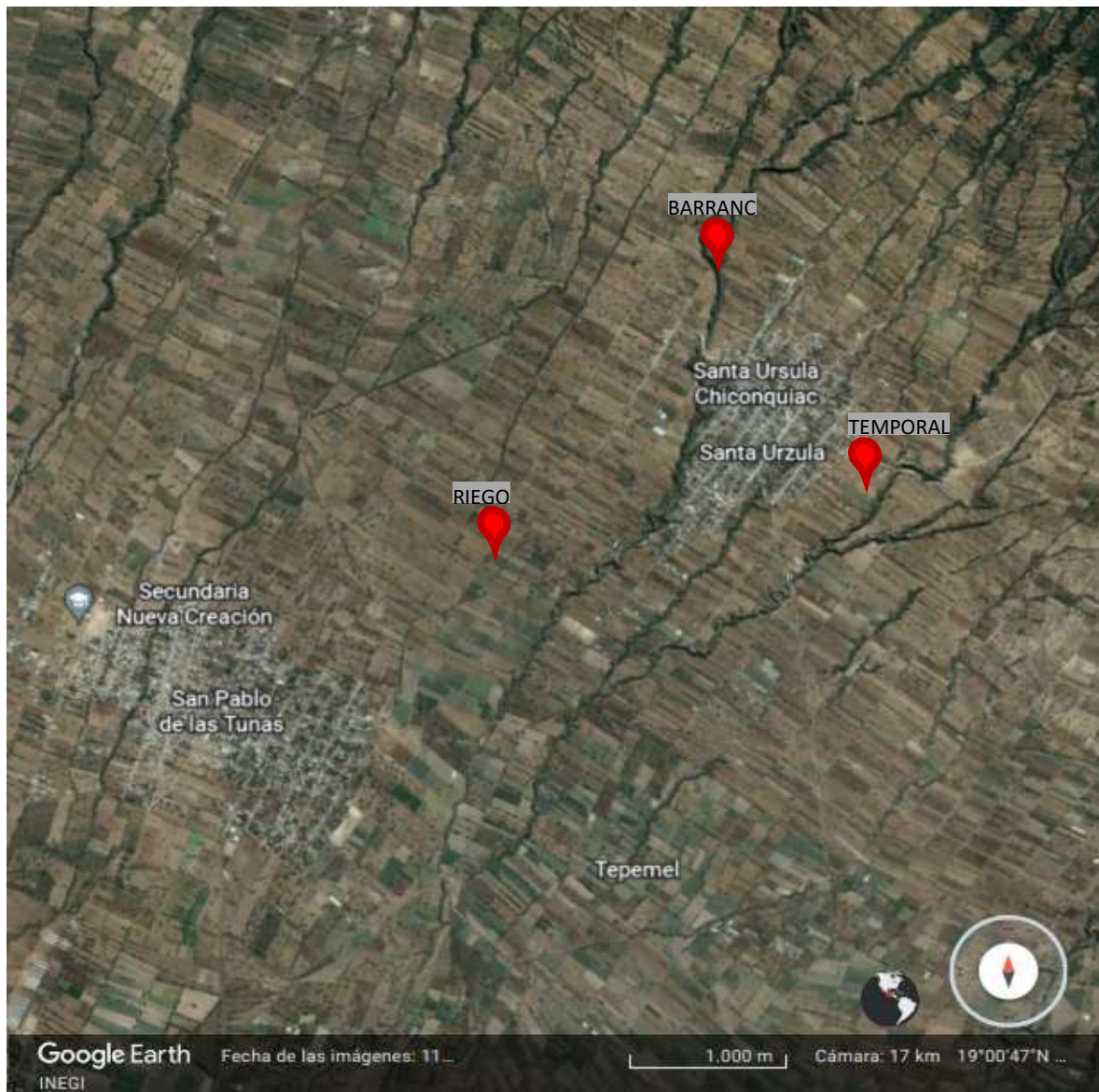


Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo dentro del municipio de General Felipe Ángeles. Fuente Google Earth, INEGI 2017

## MUESTREO

Una vez teniendo designada el área de estudio, se eligió una zona representativa del terreno para poder realizar el muestreo, asegurando así que se obtendrá una muestra con las características que se desean medir.

Se delimitó una superficie de aproximadamente 30x30 cm y con una pala de jardín se procedió a tomar la muestra de los primeros 20 cm del perfil de suelo, se recolectaron alrededor de 2 Kg de suelo. La muestra se fue depositando dentro de una bolsa de plástico la cual al finalizar el muestreo fue etiquetado con el lugar y fecha de muestreo. La bolsa se selló perfectamente para

evitar pérdida de humedad, derrames de la muestra o algún tipo de contaminación que pudiera interferir con el análisis de los parámetros correspondientes.

La metodología utilizada para el muestreo es la indicada por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. Evaluación de la conformidad para muestreo de suelo.



*Figura 4. Cultivo de riego*



*Figura 5. Cultivo de temporal*



*Figura 6. Zona sin actividad antropogénica*

## DETERMINACIONES EN CAMPO

### INFILTRACIÓN

Para evaluar la infiltración en campo se utilizó un cilindro metálico cuyas dimensiones son: 9.7x7.4 cm de altura y diámetro respectivamente. El cilindro se introdujo en el perfil de suelo de forma tal que quedara enterrado hasta la mitad de su altura. Posteriormente con ayuda de una jarra medidora de 500 mL, llena de agua, se vertió líquido dentro del cilindro hasta que este quedo completamente lleno y dejo filtrar toda el agua dentro del cilindro. Se tomó el tiempo desde el instante en que se empezó a verter el agua dentro del cilindro hasta que termino de filtrarse completamente, y se registraron los datos del volumen de agua filtrado en el suelo en una superficie por unidad de tiempo.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada en: Porta Casanellas Jaume y López-Acevedo Reguerin Marta. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ed Mundi Prensa.

### CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA



*Figura 7. Cilindro con agua para la determinación de la conductividad hidráulica saturada.*

Una vez terminado el proceso para determinar la infiltración, se repitieron nuevamente los pasos de verter un volumen de agua y medir el tiempo con la diferencia que esta vez el proceso se inició con el suelo húmedo por la determinación anterior. Se registró nuevamente el volumen de agua infiltrado en una superficie por unidad de tiempo.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada en: Porta Casanellas Jaume y López-Acevedo Reguerin Marta. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ed Mundi Prensa.

## DENSIDAD APARENTE

Se utilizó un cilindro metálico de un volumen conocido, este se colocó sobre el suelo y se ejerció presión sobre el para enterrarlo completamente sobre el perfil de suelo, una vez que sus bordes superiores estuvieron a ras de suelo, con ayuda de una pala de jardín de comenzó a retirar el suelo alrededor del cilindro hasta descubrir completamente su pared exterior. Se introdujo la pala por debajo del cilindro para retirarlo del área de muestreo, cuidando que no se perdiera parte de la muestra contenida en el cilindro. Utilizando la pala como cuchilla se retiró el excedente de suelo que sobresalía del borde inferior del cilindro. La muestra se guardó dentro de una bolsa plástica cerrada perfectamente para evitar pérdidas de humedad y se trasladó cuidadosamente a laboratorio para pesar el cilindro con la muestra, retirar el suelo del cilindro y una vez que este estuvo limpio y perfectamente seco también se pesó para poder obtener por diferencia la masa de muestra que se recolectó y hacer los cálculos correspondientes.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada en: Porta Casanellas Jaume y López-Acevedo Reguerin Marta. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ed Mundi Prensa.

## DETERMINACIONES EN LABORATORIO

### HUMEDAD

Se utilizó la misma muestra recolectada para la determinación de la densidad aparente en campo. Una vez obtenido el peso de la muestra en condiciones de humedad, es decir bajo las condiciones en que se trasladó del área de muestreo al laboratorio, se procedió a vaciar la muestra sobre una charola de peso conocido y se introdujo a la estufa por 24 horas para evaporar el agua contenida en la muestra y esta quedara perfectamente seca. Se registraron los pesos de la muestra tanto húmeda como seca y se procedió a realizar los cálculos correspondientes.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. Evaluación de la conformidad para muestreo de suelo. MÉTODO AS-05.

### PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Una vez obtenida la muestra, esta se trasladó cuidadosamente a laboratorio, se vació en una charola donde se homogenizó esparció sobre toda la superficie para posteriormente poderla introducir a la estufa y secarla perfectamente. De dejó durante 72 horas en la estufa, removiendo paulatinamente la muestra para asegurarse que no hubiera humedad en el fondo de la charola.

Una vez que la muestra estuvo completamente seca, se retiró de la estufa, se dejó enfriar. Como la muestra no contenía ninguna roca de gran tamaño, hojas o ramas no hubo necesidad de retirar ningún material de la muestra. No se realizó molienda pues las muestras presentaron partículas muy finas, así que la muestra se pasó directamente por un tamiz con aberturas de 2.00 mm de diámetro. Finalmente, la muestra tamizada fue vertida en bolsas plásticas donde se homogenizó nuevamente, se etiquetó y cerró la bolsa perfectamente.



Figura 8. Muestras de suelo en estufa.



Figura 9. Muestras de suelo y tamizado.

La metodología utilizada para la preparación de la muestra es la indicada por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. Evaluación de la conformidad para muestreo de suelo. MÉTODO AS-01.

## PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA

En un vaso de precipitados se colocaron aproximadamente 10 gramos de suelo tamizado, al cual por intervalos de 24 horas se le agregó peróxido de hidrógeno al 30% durante varios días. Una vez que al agregar peróxido de hidrógeno ya no se generó ninguna reacción se dio por terminado el pretratamiento, pues es indicio de que la materia orgánica se destruyó completamente.

La metodología aplicada para el pretratamiento de la muestra, que fue utilizada para la determinación de densidad real y textura de suelo, es la indicada por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. Evaluación de la conformidad para muestreo de suelo. MÉTODO AS-09.

## DENSIDAD APARENTE

Se utilizó una probeta de 10 mL perfectamente limpia y seca, la cual se pesó y lleno con suelo de la muestra tamizada hasta la marca de 10 mL. Se golpeó cuidadosamente contra la mesa de trabajo y nuevamente se llenó con suelo hasta la marca de 10 mL. Se pesó la probeta ya con la muestra. Se registraron los pesos y se realizaron los cálculos correspondientes.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada en: Porta Casanellas Jaume y López-Acevedo Reguerin Marta. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ed Mundi Prensas.

## DENSIDAD REAL

De la muestra pre tratada, se pesaron 5 gr de suelo y se introdujeron en un picnómetro de 5 mL, perfectamente limpio, seco y pesado. Una vez contenida la muestra, se llenó el picnómetro con agua desmineralizada hasta quedar bien aforado y se pesó nuevamente con la muestra y el agua. Se tomó la temperatura inmediatamente. La muestra y el agua se desecharon y utilizando el mismo picnómetro, nuevamente limpio y seco, se aforo con agua desmineralizada, se procedió a pesarlo y tomar la temperatura del líquido. Una vez obtenidos todos los datos se realizaron los cálculos correspondientes.

La metodología utilizada para determinación y sus cálculos son los indicados por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. Evaluación de la conformidad para muestreo de suelo. MÉTODO AS-04.

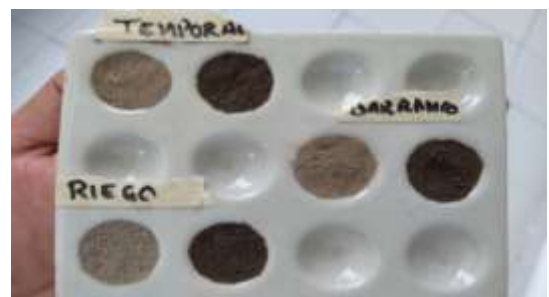


*Figura 10. Picnómetro con suelo y agua para determinar densidad real.*

## COLOR

Se utilizó una placa de porcelana, donde se enrazaron dos huecos consecutivos con la muestra tamizada de suelo. La muestra contenida en uno de los huecos se dejó en seco y a la otra se le agregó cuidadosamente agua desmineralizada, cuidando de no llegar a la saturación. Con ayuda de la tabla Munsell, por comparación de la muestra seca y húmeda contra la escala de la tabla, se localizó visualmente el color más parecido al de las muestras. Se registraron los valores de Value, Croma y la descripción del color correspondientes.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-22.



*Figura 11. Porcelana con muestras de suelo seco y húmedo para la determinación de color.*

## COEFICIENTE DE EXTENSIÓN LINEAL (COLE)

Se utilizó una caja Petri de diámetro conocido, sin tapa, la cual se llenó a ras con suelo tamizado y se le agrego agua desmineralizada hasta su saturación. Posteriormente la caja con la muestra se dejó secar al ambiente en un área segura dentro del laboratorio. La caja se fue monitoreando hasta asegurarse que estuvo completamente seca y se procedió a medir transversalmente las grietas que aparecieron en la placa, finalmente se registraron los datos y se realizaron los cálculos pertinentes.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada en: Soil Survey Laboratory Methods Manual, USDA/Rebecca Burt. Soil Survey Investigations Report No. 42, (NOVEMBER, 2004) versión 4.0

## ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS

Se pasaron 50 gramos de suelo tamizado y se agregaron sobre un tamiz donde se humedecieron cuidadosamente. El tamiz se sumergió en un recipiente lleno de agua, quedando la muestra sujeta aproximadamente 5 cm debajo del agua. Posteriormente el tamiz se sometió a movimientos oscilatorios de manera vertical durante 3 minutos. Pasado el tiempo indicado los restos de muestra retenidos en el tamiz se lavaron cuidadosamente con agua desmineralizada para hacerlos caer en un vaso de precipitados previamente pesado y se llevó a la estufa a secar por 24 horas. Una vez que la muestra estuvo completamente seca se pesó y se hicieron los cálculos correspondientes.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada en: Soil Survey Laboratory Methods Manual, USDA/Rebecca Burt. Soil Survey Investigations Report No. 42, (NOVEMBER, 2004) versión 4.0

## TEXTURA DEL SUELO

Se pesaron 50 g de suelo pretratado y se agregaron en un vaso de precipitados, donde se le adicionaron 10 mL de hexametáfosfato de sodio. La mezcla se llevó a agitación durante 30 minutos, pasado este tiempo se vertió perfectamente todo el contenido en una probeta de 1000 mL, la cual de lleno con agua desmineralizada hasta la marca de 900 mL. Con ayuda de un agitador de mano se suspendió la solución durante un minuto y se tomó una primera lectura con el hidrómetro a los 40 segundos de haber empezado la agitación. Finalmente, la suspensión se dejó reposar durante dos horas y se tomó una segunda lectura con el hidrómetro. Se registraron ambos datos y se procedió a realizar los cálculos pertinentes.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece



*Figura 12. Probeta con muestra en agitación para determinación de textura.*

las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-09.

## POROSIDAD

Se utilizó un recipiente plástico de volumen conocido, previamente pesado y perfectamente limpio y seco. El recipiente se enrasó con muestra de suelo seco y tamizado, para después ser pesado ya con la muestra. Se procedió a agregar agua al suelo contenido en el vaso hasta llegar a alcanzar la saturación y asegurarse que saliera completamente al aire contenido en los poros de la muestra. Se pesó nuevamente el recipiente con la muestra saturada. Todos los datos necesarios se registraron y finalmente se realizaron los cálculos para determinar la porosidad del suelo analizado.

La metodología aplicada para esta determinación está indicada en: Gómez, J. C., (2013). Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. Centro agropecuario la granja. Espinal-Tolima.

## PORCENTAJE DE SATURACIÓN

En un recipiente plástico con tapa, previamente pesado, se agregaron 200 g de suelo seco y tamizado, se adicionó parcialmente agua desmineralizada hasta alcanzar el punto de saturación, removiendo el suelo para asegurarse de humectar perfectamente todo el suelo y se procedió a pesar el recipiente ahora conteniendo la pasta saturada. La pasta se dejó en reposo durante 48 horas con el recipiente tapado y se resguardó para posteriormente poder obtener el extracto de saturación. Todos los datos se registraron y se realizaron los cálculos necesarios para obtener el porcentaje de saturación.

La metodología utilizada para esta determinación y sus cálculos son los indicados por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-17.

## DETERMINACIÓN DE CARBONO Y MATERIA ORGÁNICA

Para esta determinación fue necesario correr un blanco.

En un matraz Erlenmeyer se colocó 0.1 g de suelo seco y tamizado, se agregaron 10 mL de dicromato de potasio 1N humectando completamente la muestra de suelo. En seguida se adicionaron 10 mL de ácido sulfúrico concentrado, se agitó la mezcla cuidadosamente y se dejó reposar durante 30 minutos. Pasados los 30 minutos se agregaron al matraz 5 mL de ácido fosfórico concentrado, se agitó ligeramente el matraz y se adicionaron 3 gotas de indicador de difenilamina para finalmente titular con sulfato ferroso. Se registraron todos los datos necesarios y se realizaron los cálculos para determinar los porcentajes de carbono y materia orgánicos.



*Figura 13. Muestra titulada para la determinación de carbono orgánico.*

La metodología utilizada para esta determinación y sus cálculos son los indicados por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-07.

## OBTENCIÓN DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN

La muestra usada para la determinación del porcentaje de saturación se resguardo y dejo en reposo durante 48 horas, una vez pasado el tiempo de reposo de la pasta de saturación, esta se sometió a un proceso de filtración por vacío, para esto se montó un embudo Büchner en un matraz Kitasato, conectado a una bomba de vacío. Sobre el embudo se colocó un papel filtro, donde se colocó la pasta saturada y se encendió la bomba de vacío para obtener el extracto que se fue recolectando en el matraz. Finalmente, se midió la cantidad de extracto obtenido, se almaceno en un frasco estéril debidamente etiquetado y se guardó en refrigeración para ser utilizado en determinaciones posteriores.



*Figura 14. Extracto de saturación filtrado en matraz kitasato a través de embudo Büchner*



*Figura 15. Pasta saturada filtrada.*

La metodología utilizada para la obtención del extracto de saturación es la indicada por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-16.

## DETERMINACIÓN DE pH EN EXTRACTO DE SATURACIÓN

Una vez obtenido el extracto de saturación, se utilizó un potenciómetro, previamente calibrado, para hacer la lectura de pH directa sobre el extracto. Se encendió el potenciómetro y de acuerdo con sus especificaciones de uso, se seleccionó la función de lectura de pH. El electrodo, perfectamente limpio y seco, se sumergió dentro del extracto y una vez estabilizada la lectura, se registró el valor correspondiente.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-02.

## DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN EXTRACTO DE SATURACIÓN

Se llenó una probeta con el extracto de saturación, de forma tal que permitiera sumergir el medidor de conductividad sin derramar el extracto. El conductímetro se lavó con agua desmineralizada y se secó previamente a su uso. Se encendió el equipo y se procedió a tomar la lectura sumergiendo el medido en la probeta con el extracto, hasta estabilizar la lectura e inmediatamente se tomó la temperatura con ayuda de un termómetro. Los datos de las lecturas de conductividad eléctrica y temperatura se registraron. Una vez utilizados tanto el termómetro como el conductímetro se lavaron y secaron de acuerdo con sus especificaciones de uso.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-18.

## DETERMINACIÓN DE CARBONATOS

En un matraz Erlenmeyer se pipeteo una alícuota de 5 mL del extracto de saturación, se agregaron 3 gotas de indicador de fenolftaleína y se agito cuidadosamente el matraz. La solución se tornó rosa y se procedió a titular con ácido sulfúrico 0.05 N. Para los casos en que la solución no viro a rosa cuando se agregó el indicador no fue necesario titular, pues la ausencia del vire indica que no hay presencia de carbonatos en la muestra. Se registraron los datos necesarios y se realizaron los cálculos correspondientes para obtener la concentración de carbonatos en la muestra.

La muestra resultante se reservó para la determinación de bicarbonatos.

La metodología utilizada para esta determinación y sus cálculos son los indicados por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-29.

## DETERMINACIÓN DE BICARBONATOS

Después de finalizada la determinación de carbonatos, inmediatamente se tomó a misma muestra y se le agregaron 2 gotas de naranja de metilo, se agito cuidadosamente y se procedió a titular con ácido sulfúrico 0.05 N, hasta la obtención de una solución color canela. Se registraron los datos necesarios y se procedió a realizar los cálculos pertinentes para obtener la concentración de bicarbonatos.

La metodología utilizada para esta determinación y sus cálculos son los indicados por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad,



*Figura 16. Muestra titulada para la determinación de bicarbonatos.*

salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-20.

## DETERMINACIÓN DE CLORUROS

Para esta determinación fue necesario correr un blanco.

En un matraz Erlenmeyer se agregó una alícuota de 3 mL de extracto de saturación, se adicionaron 10 gotas de indicador de cromato de potasio y se agito cuidadosamente por unos segundos. Finalmente, la solución se tituló con nitrato de plata al 0.05 N hasta que se observó un cambio de color en la solución de amarillo a rojo vinoso. Se registraron los datos necesarios y finalmente se realizaron los cálculos para obtener la concentración de cloruros.



*Figura 17. Muestras tituladas para la determinación de cloruros.*

La metodología utilizada para esta determinación y sus cálculos son los indicados por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-20.

## DETERMINACIÓN DE CALCIO

Para esta determinación fue necesario correr un blanco.

En un matraz Erlenmeyer se pipeteo una alícuota de 5 ml de extracto de saturación y se le agregaron 5 gotas de Dietilditiocarbamato de sodio al 1%, la solución se agito por unos segundos y se adiciono 1 gota de hidróxido de sodio 4 N para proceder a agitar nuevamente. Finalmente se vertieron 7 mg de murexida a la solución para agitar y se procedió a la titulación de la muestra con una solución de EDTA al 0.1N.

Se registraron todos los datos necesarios y se realizaron los cálculos pertinentes para determinar la concentración de calcio.

La muestra resultante se reservó para continuar con la determinación de magnesio.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada en: Soil Survey Laboratory Methods Manual, USDA/Rebecca Burt. Soil Survey Investigations Report No. 42, (NOVEMBER, 2004) versión 4.0.

## DETERMINACIÓN DE MAGNESIO

Se utilizó la muestra recién titulada para la determinación de calcio y se agregaron 3 gotas de ácido clorhídrico concentrado, la solución se agito hasta que la murexida se destruyó completamente. Posteriormente se adicionaron 3 mL de solución buffer de cloruro de amonio e hidróxido de amonio y se agito el matraz por unos segundos más para homogenizar la solución. Finalmente se agregó 1 gota de indicador negro de Eriocromo T y se tituló con una solución de EDTA al 0.1 N.

Se registraron los datos necesarios y se realizaron los cálculos para obtener la concentración de magnesio.



*Figura 18. Muestra antes y después de titular para la determinación de magnesio.*

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada en: Soil Survey Laboratory Methods Manual, USDA/Rebecca Burt. Soil Survey Investigations Report No. 42, (NOVEMBER, 2004) versión 4.0.

## DETERMINACIÓN DE ACIDEZ EXTRAÍBLE

Para esta determinación fue necesario correr un blanco.

Se pesaron 12.5 g de suelo seco y tamizado, se colocaron en un embudo con papel filtro, puesto sobre un matraz Erlenmeyer. Se vertieron 25 mL de solución de cloruro de bario y trietanolamina, humedeciendo perfectamente la muestra de suelo, se esperó a que reaccionara la solución con la muestra de suelo y se infiltrara el extracto dentro del matraz. Cuando no salió más extracto se retiró el embudo y se agregaron al matraz 2 gotas de indicador rojo de metilo. Se procedió a titular con una solución de ácido clorhídrico 1 N.

Se anotaron los datos necesarios y se realizaron los cálculos necesarios para determinar la acidez extraíble.

El embudo con el papel filtro y la muestra de suelo se reservó para poder realizar la determinación de capacidad de intercambio catiónico.

La metodología utilizada para esta determinación y sus cálculos son los indicados por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-32.

## DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNIC

Se colocó nuevamente sobre un matraz el embudo con el papel filtro y la muestra que se utilizaron para la determinación de acidez extraíble, se agregó agua desmineralizada hasta cubrir completamente la muestra de suelo y se esperó a que esta se infiltrara. Se agregaron 2 gotas de nitrato de plata al extracto y nuevamente sobre el embudo, se adicionaron 50 mL de acetato de sodio 0.1M. una vez que termino de infiltrarse el acetato de sodio, se retiró el embudo y al extracto se le adicionaron 20 mL de solución buffer de cloruro de amonio e hidróxido de amonio, la solución se agito y se agregó 1 gota de indicador negro de Eriocromo T para finalmente titular con una solución de EDTA 1 N.

Se registraron los datos necesarios y se realizaron los cálculos necesarios para determinar la capacidad de intercambio catiónico. Determinación de nitrógeno total.

La metodología utilizada para esta determinación es la indicada en: Soil Survey Laboratory Methods Manual, USDA/Rebecca Burt. Soil Survey Investigations Report No. 42, (NOVEMBER, 2004) versión 4.0.

## DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL

Para esta determinación fue necesario correr un blanco.

Se pesaron por separado 2.5 gramos de suelo seco y tamizado, y 0.6 g de mezcla de catalizadores, ambos se colocaron dentro de un tubo de destilación microkjeldahl perfectamente limpio y seco. Posteriormente se adicionaron 3 mL de ácido sulfúrico concentrado y se agito ligeramente el tubo para incorporar los diferentes elementos. El tubo se sometió a calentamiento durante 2 horas. Pasadas las dos horas se dejó enfriar el tubo con la solución y se vertieron 7.5 mL de agua desmineralizada, se prosiguió a vaciar el contenido a un tubo Falcón el cual se llevó a centrifugar durante 6 minutos para separar la fase sólida y líquida de la solución. El extracto se vertió en el destilador microkjeldahl, seguido de 7.5 mL de hidróxido de sodio 10N. Se inició la destilación y el destilado que obtenido se transfirió a un matraz Erlenmeyer donde se le agregaron 25 mL de solución de ácido bórico y 3 gotas de indicador de Tashiro y finalmente se tituló la muestra con ácido sulfúrico al 0.01 N.

Se registraron todos los datos necesarios y se realizaron los cálculos necesarios para determinar el porcentaje de nitrógeno.



*Figura 19. Muestras de suelo en digestor Kjeldahl para la determinación de nitrógeno total.*

La metodología utilizada para esta determinación y sus cálculos son los indicados por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. MÉTODO AS-25

# CAPITULO: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS DETERMINACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LAS DIFERENTES ZONAS DE ESTUDIO

De acuerdo con las cartas edafológicas del INEGI los terrenos donde se realizaron los muestreos pertenecen a un mismo tipo de suelo, un calcisol, por lo que las características de cada punto de muestreo deberían ser las mismas, no obstante, bajo las distintas tareas de laboreo y condiciones de explotación del recurso a la que ha sido sometida cada zona, estas características se han modificado de forma muy variable entre cada una de ellas. Los parámetros del punto de muestreo del barranco pueden tomarse como referencia de las condiciones óptimas en las que debería encontrarse el suelo de ambas áreas de estudio, ya que esta zona no ha sido alterada por la mano del hombre lo que le confiere la capacidad de conservarse bajo condiciones naturales, únicamente bajo la intervención de las fuerzas de la naturaleza.

Tabla 1. Zona de muestreo y determinaciones en campo

| ZONA DE MUESTREO |                       |                              | DETERMINACIONES EN CAMPO               |                                                             |
|------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| ID MUESTRA       | COORDENADAS           | PROFUNDIDAD DE MUESTREO (cm) | INFILTRACIÓN (mL/min cm <sup>2</sup> ) | CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA (mL/min cm <sup>2</sup> ) |
| RIEGO            | 19°00'30"N 97°40'15"W | 0 - 20                       | 1.7005                                 | 1.5105                                                      |
| TEMPORAL         | 19°00'15"N 97°41'37"W | 0 - 20                       | 0.6909                                 | 0.4954                                                      |
| BARRANCO         | 19°01'19"N 97°40'48"W | 0 - 20                       | 1.8001                                 | 1.0921                                                      |

En los diferentes sitios de muestreo se realizaron algunas determinaciones en campo, la primera fue la infiltración en donde se observan valores muy similares entre la muestra de riego y barranco, mientras que para temporal se obtuvo un valor significativamente inferior en comparación con demás valores obtenidos en las demás áreas de estudio. La zona con un mayor volumen de agua infiltrado por unidad de tiempo y área fue para el barranco, seguida por riego y finalmente temporal.

En el caso de la conductividad hidráulica saturada la zona de riego presento un mayor volumen por unidad de tiempo y área, seguida por barranco y finalmente temporal, por lo que en estado seco y saturado el suelo de temporal tiene una infiltración de agua más lenta.

Grafica 1. Comparación de infiltración y conductividad hidráulica saturada.

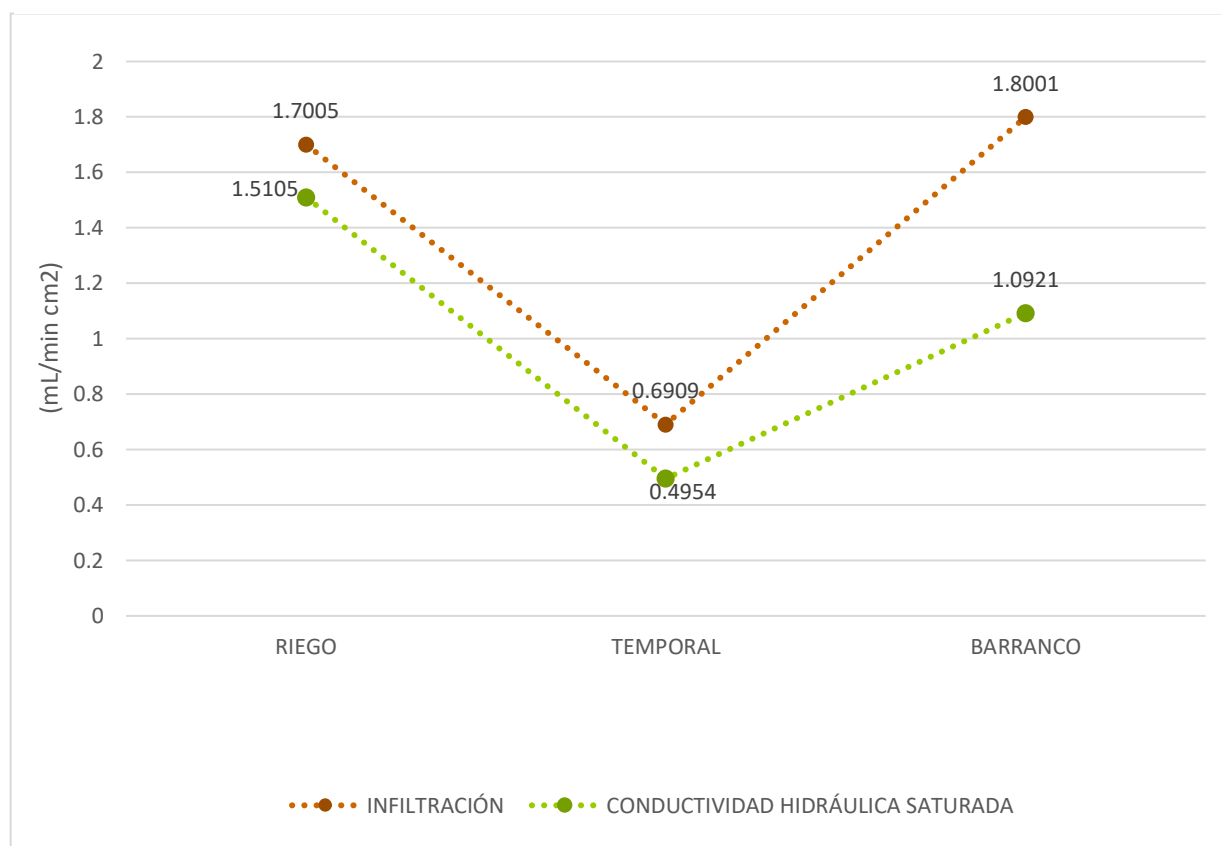


Tabla 2. Determinaciones físicas

| ID MUESTRA | DENSIDAD APARENTE EN CAMPO (g/mL) | DENSIDAD APARENTE (g/mL) | DENSIDAD REAL g/mL |
|------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|
| RIEGO      | 4.0441                            | 1.322                    | 2.4424             |
| TEMPORAL   | 3.9788                            | 1.2567                   | 2.7784             |
| BARRANCO   | 3.9788                            | 1.1286                   | 2.3084             |

Al evaluar la densidad de las muestras se evaluaron bajo distintas condiciones y métodos. Los resultados obtenidos fueron similares para cada densidad determinada entre las diferentes zonas de estudio, pero difieren entre cada tipo de densidad. Para las condiciones en campo la mayor densidad se obtuvo para riego y para temporal y barranco se encontraron valores iguales, sin embargo, al evaluar sus densidades aparente y real se encontraron diferencias significativas, aunque el valor menor siempre se obtuvo para la zona de barranco. Con los valores obtenidos en las distintas determinaciones de densidad podemos intuir que la zona de barranco al tener una densidad menor posee mayor porosidad en comparación con la zona de riego y temporal y por lo tanto es una zona menos compacta lo cual afectará de forma directa y

positivamente en otros parámetros como la porosidad, densidad, porcentaje de saturación entre otros.

Grafica 2. Comparación de densidades aparente en campo, aparente y real.

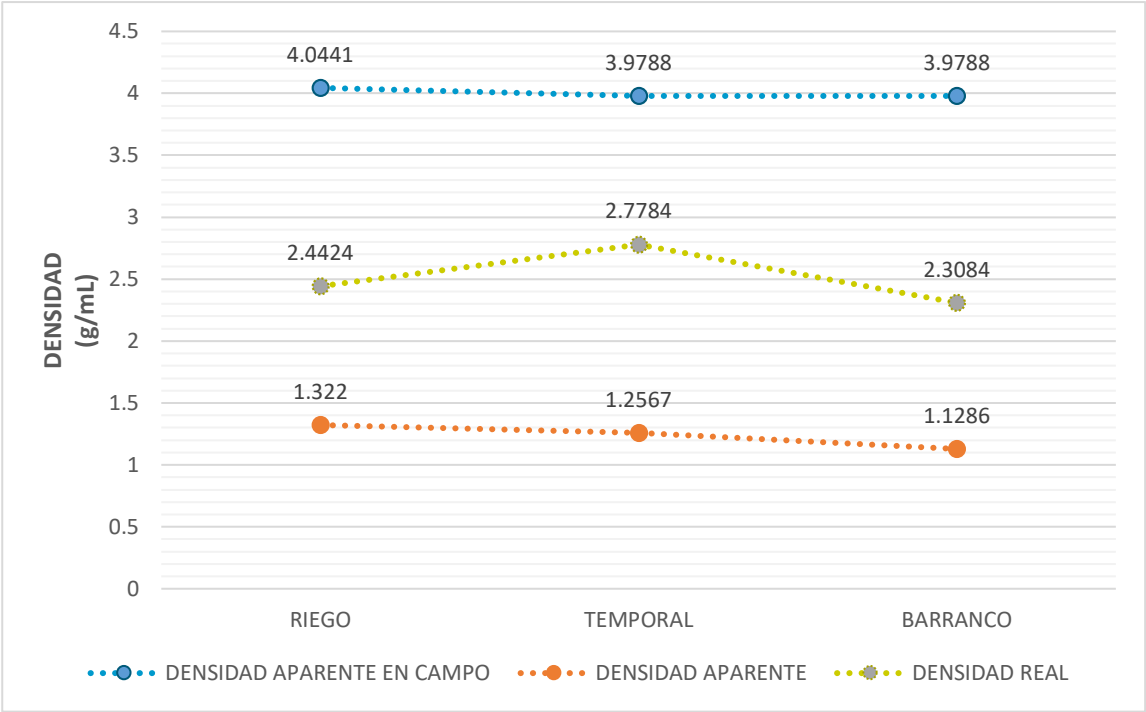


Tabla 3. Continuación: Determinaciones físicas

| ID MUESTRA | COLOR      |                                 |              |                      | COLE   |
|------------|------------|---------------------------------|--------------|----------------------|--------|
|            | SUELO SECO | DESCRIPCIÓN                     | SUELO HÚMEDO | DESCRIPCIÓN          |        |
| RIEGO      | 10YR 7/2   | Gris brillante                  | 10YR 4/1     | Gris oscuro          | 0.9985 |
| TEMPORAL   | 10YR 6/2   | Gris brillante ligeramente café | 10YR 3/1     | Gris muy oscuro      | 0.977  |
| BARRANCO   | 10YR 7/2   | Gris brillante                  | 10YR 3/2     | Gris café muy oscuro | 0.977  |

El color de las muestras de suelo, en estado seco permite intuir que en ambas zonas existe la presencia de carbonatos, yeso y elementos salinos de poca evolución, con posible pérdida de materia orgánica, hierro y otros elementos, característica de suelos con colores claros. Además de la presencia de hierro en forma hidratada, que se encuentra en suelos con tonos amarillos. Para el suelo de riego el color en húmedo infiere un exceso de agua que da lugar a procesos de reducción y decoloración por empobrecimiento de hierro y manganeso además de una aireación insuficiente del suelo, característica de suelos con tonos grisáceos.

El coeficiente de extensibilidad lineal (COLE) tiene valores muy similares para el suelo de las tres muestras. Estos valores reflejan una baja actividad de expansión y contracción del suelo cuando pasa de un estado seco a húmedo y viceversa. Los valores obtenidos reflejan de forma directa un problema para el crecimiento óptimo del sistema radicular de la vegetación, así como una baja infiltración pues son suelos que no alteran de forma significativa su estructura con las variaciones del contenido de humedad. Por otro lado, se puede inferir la porosidad de estos suelos no se verá afectado con el efecto de desecamiento del suelo, pues los suelos tienden a disminuir su tamaño de poro para poder dar lugar a las grietas que aparecen en el suelo cuando este se compacta durante la transición del suelo húmedo a seco. Aunque los valores de COLE son muy similares podemos determinar que las actividades de un cultivo bajo sistema de riego si afecta de forma negativa esta característica del suelo.

*Tabla 4. Continuación: Determinaciones físicas*

| <b>ID MUESTRA</b> | <b>POROSIDAD<br/>cm<sup>3</sup></b> | <b>HUMEDAD<br/>(%)</b> | <b>% DE SATURACIÓN<br/>(%)</b> | <b>ESTABILIDAD DE AGREGADOS<br/>(%suelo &gt; 25 mm)</b> |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>RIEGO</b>      | 107.1571                            | 9.807                  | 40.85                          | 76.458                                                  |
| <b>TEMPORAL</b>   | 110.9663                            | 5.5909                 | 40.75                          | 89.657                                                  |
| <b>BARRANCO</b>   | 125                                 | 21.9512                | 55.8                           | 84.909                                                  |

La porosidad de las diferentes zonas estudiadas se debe a distintas características de cada suelo, es fácil observar que para el caso del barranco la porosidad es mucho mayor, lo cual tiene relación con los valores obtenidos de densidad pues a menor densidad existen más espacios entre las partículas de suelo y por tanto una mayor porosidad, que a su vez permite una acumulación mayor de agua por tener más espacio disponible entre las partículas de suelo representando un mayor porcentaje de saturación y por tanto mayor porcentaje de humedad. La alta porosidad del suelo de barranco permite inferir que tiene mayor porcentaje de materia orgánica y por tanto en un suelo de mayor calidad en comparación a las otras zonas de estudio.

La determinación del porcentaje de humedad muestra evidentes diferencias entre los diferentes suelos estudiados. El suelo de temporal al poseer una mayor porosidad tiene mayor capacidad de almacenar agua, y por lo tanto la pérdida por evaporación, consumo de la vegetación y demás, permite que la humedad perdure en el suelo durante mayor tiempo, sin embargo el suelo de riego presenta una mayor humedad ya que este parámetro se mide bajo las condiciones de cada lugar al momento de tomar las muestras, el suelo de riego al contar con una periódica irrigación le permite tener una porcentaje de humedad mayor que el de temporal. Por su parte, el suelo de barranco a pesar de no contar con una irrigación frecuente y solo depender de las precipitaciones pluviales de la zona posee un mayor porcentaje de humedad gracias a ser un suelo no alterado lo que permite que la humedad y otras características que interfieren en este parámetro de conserven de mejor manera.

El porcentaje de saturación está relacionado directamente con la porosidad del perfil de suelo. A mayor porosidad, se estima una mayor cantidad de materia orgánica en la cual se almacena

cierta cantidad de agua, además permite mayor espacio entre poros disponible para ser ocupado por agua. Por lo tanto, entre más poroso sea un suelo necesita mayor cantidad de agua para alcanzar el punto de saturación. Lo anterior se observa en la tabla, el suelo de riego es menos poroso y tiene el porcentaje de saturación más bajo, mientras el suelo de barranco que tiene una porosidad mayor también posee el porcentaje de saturación más elevado.

La evaluación de la estabilidad de agregados muestra una evidente diferencia entre el suelo de riego con respecto al de temporal y barranco. Al estar sometido constantemente a tareas de laboreo y labranza, además de los riegos periódicos se han generado cambios en la estructura en el suelo de riego, lo que ha permitido que el suelo sea más susceptible a erosionarse. Según Romero Franco (1998) los limos no presentan un alto poder adherente a las arcillas y al permanecer en el perfil de suelo como partículas individuales se erosionan muy fácilmente, por lo que el suelo de barranco al presentar un alto porcentaje de limo como más del 54 % de esta fracción por lo que presenta una menor estabilidad que el suelo de temporal. La diferencia existente entre la estabilidad de los agregados en los suelos de temporal y riego es muy ligera, en ambos casos es bastante alta, sin embargo, las fracciones en los componentes de los diferentes suelos le confieren al suelo de temporal una estabilidad ligeramente mayor.

Grafica 3. Comparación de humedad, porcentaje de saturación, estabilidad de agregados y porosidad.

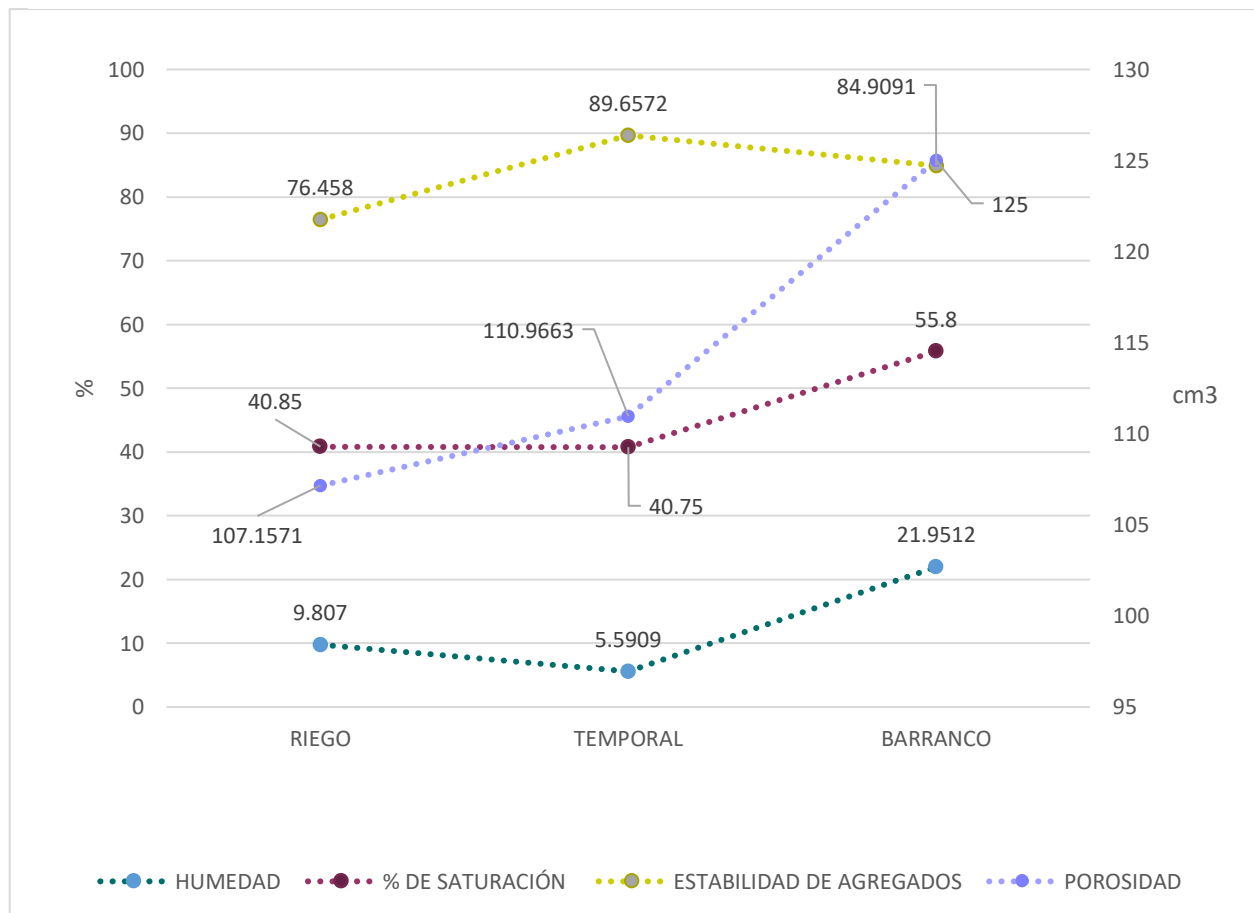


Tabla 5. Continuación: Determinaciones físicas

| ID<br>MUESTRA   | TEXTURA |        |           |                                  |
|-----------------|---------|--------|-----------|----------------------------------|
|                 | % ARENA | % LIMO | % ARCILLA | CLASIFICACIÓN TRIANGULO TEXTURAL |
| <b>RIEGO</b>    | 69.48   | 17.96  | 12.56     | Franco Arenoso                   |
| <b>TEMPORAL</b> | 50.4    | 33.8   | 15.8      | Franco                           |
| <b>BARRANCO</b> | 43.84   | 54     | 2.16      | Franco limosa                    |

La textura de cada suelo le confiere diferentes propiedades a cada suelo y estas dependen de las variaciones en la cantidad de arena limo y arcilla presentes en cada zona. Los porcentajes de cada elemento en las zonas de estudio permiten determinar su clasificación de acuerdo con el triángulo de texturas de suelo y con los porcentajes de arena, limo y arcilla obtenidos para cada muestra determinamos que el suelo de riego es franco arenoso, para temporal es un suelo franco y en el caso de barranco el suelo es franco limoso. Esto tiene relación a las propiedades evaluadas con anterioridad ya que el alto porcentaje de arenas en el suelo de riego le confiere mayor permeabilidad, pero también una mayor pérdida de agua.

Grafica 4. Comparación del contenido de arena, limo y arcilla.

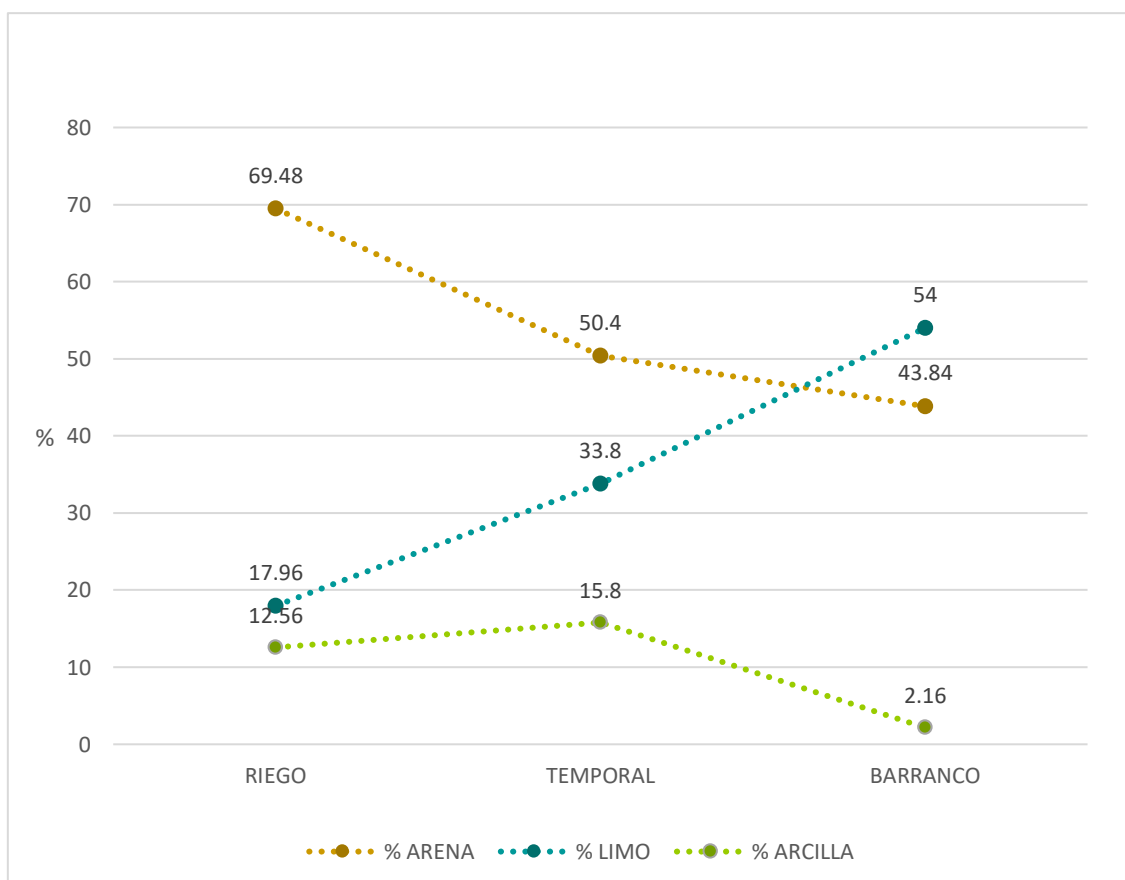


Tabla 6. Determinaciones Químicas

| ID MUESTRA | pH EN EXTRACTO DE SATURACIÓN (pH) | CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA SIEMENS (dS m <sup>-1</sup> ) | CARBONO ORGÁNICO (%) | MATERIA ORGÁNICA (%) |
|------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| RIEGO      | 8.254                             | 9.4                                                   | 0.3289               | 0.5668               |
| TEMPORAL   | 7.304                             | 7.4                                                   | 1.3746               | 2.3782               |
| BARRANCO   | 7.426                             | 7.2                                                   | 2.5415               | 4.3816               |

El pH ideal del suelo debería oscilar entre 6.5 y 7.0 para obtener los mejores rendimientos y la mayor productividad (Prasad and Power, 1997). Los requerimientos del pH dependen de los cultivos establecidos ya que existen especies vegetales que se desarrollan mejor en suelos ácidos, mientras que otras proliferan mejor en suelos básicos. En las determinaciones hechas en laboratorio, los niveles de pH de las muestras son alcalinos. Para el suelo de temporal y riego el pH está muy cercano a la neutralidad, por su parte, el suelo de riego con un pH de 8.2 muestra una evidente acumulación de sales debido al manejo que se le ha dado, pues los constantes riegos programados, así como la aplicación de fertilizantes químicos y cosechas frecuentes propician la acumulación de sales. En ambos casos los niveles de pH se encuentran por encima del rango ideal, para el caso del suelo de temporal y barranco estos niveles se deben posiblemente a las condiciones climatológicas de la zona ya que se tienen largos periodos de sequía debido a la escases y retraso en las temporadas de lluvia, siendo la alcalinidad una característica de los suelos en zonas con largos periodos de sequía. De acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-200, podemos clasificar al suelo de riego y barranco como medianamente alcalino y al de temporal como un suelo neutro.

Para la conductividad eléctrica los valores obtenidos en las muestras analizadas, de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-200. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Establece los siguientes efectos para las muestras analizadas. Para riego con una CE de 9.4 se estima que el suelo sea fuertemente salino, para temporal y barranco con una CE de 7.4 y 7.2 respectivamente se estima que en ambos casos el suelo sea salino.

Laban, Metternicht, y Davies (2018) dicen que el carbono orgánico en suelos de pastizales y bosques puede llegar a ser de entre 4 y 5 %, y en las zonas templadas el carbono orgánico es de aproximadamente 1 a 2 % en suelos cultivados. Los porcentajes obtenidos en laboratorio para las muestras analizadas difieren entre cada zona de estudio. Para el suelo de riego se obtuvo un porcentaje de 0.3289, un valor muy bajo pues un terreno donde se obtienen varias cosechas a lo largo del año y el carbono orgánico del suelo se agota por los requerimientos de los cultivos. Para el suelo de temporal se tiene un 1.3746 % de carbono orgánico el cual se encuentra dentro del rango normal que estipulan los autores. Para el suelo de barranco en porcentaje de CO es incluso mayor, con un 2.5415%, ya que al ser un suelo que no se cultiva las pérdidas de carbono orgánico son mínimas, permitiendo así su absorción y conservación dentro del perfil de suelo.

Según Trinidad Santos (2018) el porcentaje de materia orgánica en el suelo se considera bajo cuando tiene un valor 1.0% o menor, y se considera con un alto contenido de materia orgánica

cuando se tienen un valor por encima del 4%. El suelo de riego contiene 0.5668% de materia orgánica (MO) por lo cual se considera que contiene muy poca materia orgánica, esto debido a su frecuente explotación por los cultivos exhaustivos. El suelo de temporal tiene un contenido de materia orgánica de 2.3782% lo cual es un valor moderado o aceptable. El suelo de barranco contiene 4.3816% de MO, por encima del mínimo para considerarse un suelo con alto contenido de MO según los autores, ya que al no ser un suelo cultivado no se tienen pérdidas significativas de la materia orgánica por la extracción de biomasa.

Grafica 5. Comparación de porcentajes de carbono orgánico y materia orgánica.

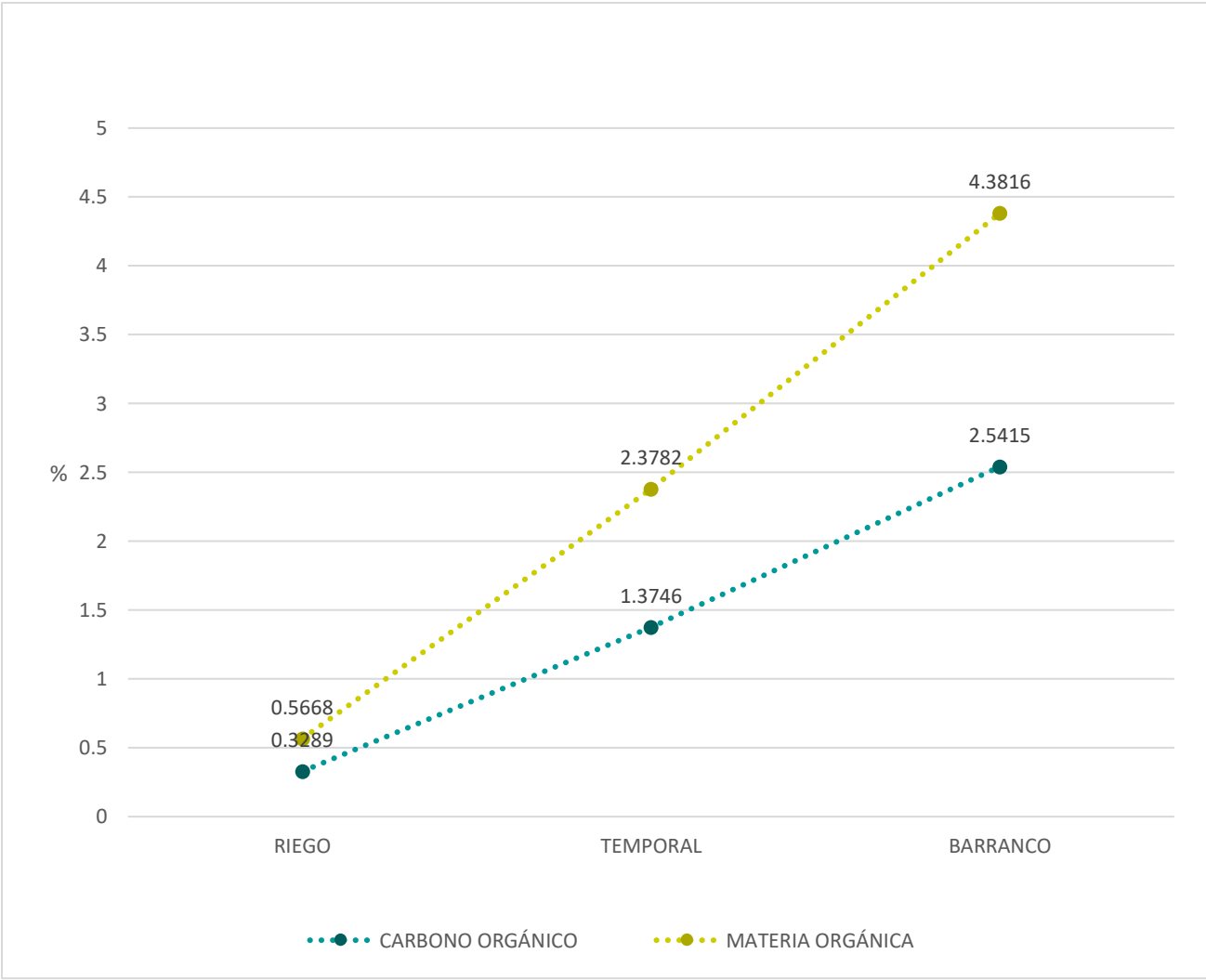


Tabla 7. Continuación: Determinaciones Químicas

| ID MUESTRA | CARBONATOS (meq/L) | BICARBONATOS (meq/L) | CLORUROS (meq/L) | CALCIO (meq/L) | MAGNESIO (meq/100 g) |
|------------|--------------------|----------------------|------------------|----------------|----------------------|
| RIEGO      | 3.5                | 5.5                  | 1.4999           | 3              | 0.00045              |
| TEMPORAL   | 0                  | 3.9                  | 1.6666           | 4.5            | 0.00185              |
| BARRANCO   | 0                  | 12                   | 3.3333           | 13.5           | 0.00195              |

La concentración de carbonatos para el suelo de riego se considera como muy baja, mientras que en los suelos de temporal y barranco no hay carbonatos presentes. En ambos casos no existe riesgo de tener deficiencias de nutrientes para las plantas por lo que el rendimiento de los cultivos no se ve limitado por este factor.

Los bicarbonatos presentan mayor permanencia en ambas muestras ya que son menos solubles que los carbonatos. El contenido de bicarbonatos en las muestras de suelo se encuentra en diferentes proporciones siendo el suelo de barranco el que tiene una concentración mayor. Esto se debe a que el suelo de esta zona es un calcisol, caracterizado por tener una alta concentración de sales, y al ser una zona no alterada por el hombre conserva mejor sus características naturales. La acumulación de sales se da de manera natural en la superficie del suelo, por lo que el suelo de barranco presenta mayor concentración de bicarbonatos, mientras que en los suelos de riego y temporal los bicarbonatos han sido lavados o removidos por las tareas de laboreo y labranza a horizontes más profundos en el perfil de suelo.

De acuerdo con la organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO, 1998) la concentración de cloruros en suelo ideal debería estar entre 4 meq/L y 10 meq/L, a concentraciones mayores de este rango se presentan efectos tóxicos graves. De acuerdo con estos requerimientos los suelos de riego, temporal y barranco tienen una concentración por debajo del mínimo, sin embargo, el suelo de barranco está muy cercano a rango ideal, siendo este el de mayor concentración de cloruros los cuales se encuentra principalmente en suelos con salinos.

Según Molina y Meléndez (2002) la concentración media de calcio es de entre 4-6 meq/L y el rango optimo va de 6-15 meq/L. el suelo de barranco se encuentra en el rango optimo, es decir tiene una muy buena concentración de calcio. El suelo de temporal se encuentra dentro de la media, mientras que el suelo de riego posee un bajo contenido de calcio. En la determinación de calcio se obtuvieron valores que definen al suelo de riego y temporal con una concentración muy baja y alta para el suelo de barranco. Ya que el calcio es uno de los nutrientes más importantes para las plantas, su demanda ha agotado significativamente su contenido en los terrenos de cultivo. Para el suelo de barranco se tiene un buen contenido de calcio ya que al ser un suelo no cultivado la presencia de la vegetación propia del sitio no representa un factor para su agotamiento proporciona una disponibilidad de este para la vegetación por mayor tiempo.

El nivel medio para magnesio en suelo oscila entre 1-3 meq/100g. Tanto el suelo de riego como el de temporal y barranco, tienen una concentración de magnesio muy por debajo de los requerimientos óptimos, siendo el suelo de riego el que presenta una concentración más baja y el suelo de barranco el de mayor concentración. En ambos casos se tiene una deficiencia de este nutriente, aunque es más severa para el suelo de riego.

Grafica 6. Comparación de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, calcio y magnesio.

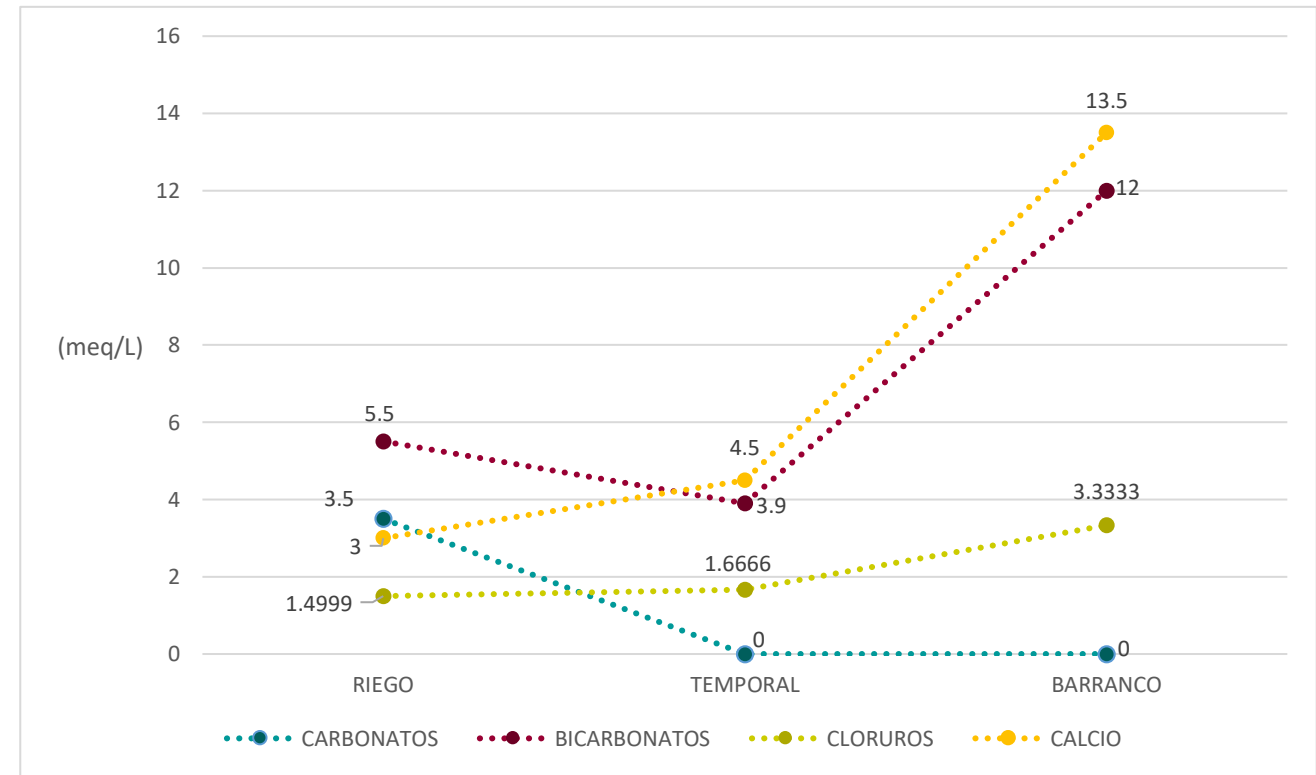


Tabla 8. Continuación: Determinaciones Químicas

| ID MUESTRA | ACIDEZ EXTRAÍBLE (meq/100g) | CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (Moles carga/kg suelo) | NITRÓGENO TOTAL (%) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|
| RIEGO      | 14.5451                     | 1.198                                                     | 0.0000279447        |
| TEMPORAL   | 16.9653                     | 0.9521                                                    | 0.0000559011        |
| BARRANCO   | 18.516                      | 1.665                                                     | 0.0148369100        |

Según el instituto colombiano agropecuario (ICA) para una acidez extraíble con valores mayores a 2 meq/100g se puede considerar que existe un problema potencial de aluminio en el suelo. Para los suelos analizados se tienen valores muy por encima de este límite por lo que se infiere que el desarrollo de la vegetación situada en cada zona se verá afectado, así como la asimilación de los demás nutrientes y con ello el rendimiento de la producción de cada zona. En el caso del suelo de barranco se obtuvo el valor más alto, es decir tiene mayor capacidad

para volverse un suelo ácido. Las lecturas de pH en el extracto de saturación definen al suelo de riego como un suelo con problemas de basicidad lo cual contribuye a tener un potencial menor de acidificación por intercambio de iones.

La capacidad de intercambio catiónico para las tres zonas de muestreo es muy baja, se infiere que son suelos muy pobres y necesitan el aporte de materia orgánica de forma significativa para poder elevar así su CIC ya que según Garrido Valero (1994) el nivel medio para este parámetro en suelo es de 20-35 Moles carga/kg suelo. Para ambas áreas de estudio el suelo tiene poca capacidad para adsorber iones intercambiables lo que se puede entenderse como suelos poco fértiles en términos agrícolas.

De acuerdo con las especificaciones de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. La concentración de nitrógeno total en ambas áreas de estudio es muy baja, sin embargo, para el suelo de barranco el contenido de nitrógeno total es significativamente más alto que el de riego y temporal, siendo el suelo de riego con el de menor contenido de nitrógeno, debido a la sobreexplotación por cultivos frecuentes a lo largo del año.

El análisis de cada una de las propiedades medidas en este trabajo refleja distintas diferencias en sus resultados los cuales se atribuyen a las distintas técnicas utilizadas en el cultivo de temporal y de riego, ya que en el cultivo intensivo se utiliza maquinaria pesada en las tareas de laboreo, labranza y cosecha, además de contar con un sistema de suministro de agua de pozo, sin tener ningún tipo de análisis ni tratamiento previo a su implementación en los cultivos, la calidad del agua de riego modifican la composición de diversas características del suelo. Por su parte el cultivo temporal implementa herramientas más rusticas en cada una de las etapas de preparación del terreno, siembra y cosecha, además de depender únicamente del agua proporcionada durante las temporadas de lluvias por lo que es agua de mayor calidad y no compromete en gran medida los parámetros del suelo.

# CONCLUSIONES

Las características fisicoquímicas del suelo se ven afectadas por las actividades de laboreo y labranza que se realizan, aunque la magnitud de estas alteraciones varía dependiendo de si el cultivo que se establezca en el terreno es de temporal o de riego.

En estado natural el suelo conserva de mejor manera todas sus propiedades, teniendo cierto equilibrio en conjunto con cada uno de sus parámetros tanto físicos como químicos.

Las actividades agrícolas de riego y temporal han transformado la estructura del suelo, haciendo que el calcisol, suelo predominante en el municipio de general Felipe ángeles, pierda el equilibrio natural de sus parámetros físicos y químicos.

Las actividades en el cultivo de riego han permitido que el suelo posea una infiltración y una conductividad hidráulica saturada casi igual que el suelo de barranco, sin embargo, debido a los constantes riegos de los cultivos se ha permitido que su concentración de sales más solubles, así como de cloruros, se vean disminuidas por lavado hacia horizontes más profundos.

El color del suelo ha sufrido un cambio más drástico entre las muestras de riego y barranco, pudiéndose observar colores más claros evidenciando un suelo muy pobre, y colores más oscuros que indican mayor cantidad de materia orgánica, respectivamente.

Las fracciones de arena, limo y arcilla que posee cada suelo analizado se han alterado de manera desproporcional, dando una textura diferente a cada zona y permitiendo que el suelo de temporal sea ligeramente menos propenso que el suelo de barranco para erosionarse. El cultivo de riego modifica drásticamente la textura del suelo volviéndolo muy susceptible a erosionarse.

El suelo de riego posee un pH muy alcalino ya que el agua de riego suministrada constantemente posee sales que son acumuladas en el perfil de suelo.

Las reservas de materia orgánica y carbono orgánico, así como el calcio y el magnesio han sido consumidas fuertemente en el suelo de riego, llevándolos a límites muy extremos y casi al punto de agotarlos, por ser sometido a una producción intensiva. El suelo de temporal conserva estos parámetros en concentraciones mayores que el suelo de riego, es decir, los cultivos de temporal aprovechan los nutrientes del suelo de manera más o menos moderada pues consumen grandes cantidades de estos, pero sin llevarlos casi al punto de agotamiento, permitiendo que estos elementos sigan presentes en el suelo. El suelo de barranco conserva de manera significativa cada uno de estos parámetros.

Las actividades agrícolas de riego son las que tienen un mayor impacto en todos los parámetros físicos y químicos del suelo, transformándolo drásticamente afectando así su calidad y con ello alterando cada una de sus funciones.

El suelo de barranco no presenta problemas drásticos en sus características físicas y químicas, se conserva de acuerdo con las características propias de un calcisol por lo que es un suelo que cumple sus funciones ecosistémicas de manera óptima de acuerdo con su naturaleza.

La implementación de la agricultura debe realizarse de forma sustentable implementando técnicas agrícolas de conservación y procurando tener un aporte constante de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo y con ello gran parte de sus parámetros físicos y químicos, enriqueciéndolo así con micronutrientes que estén disponibles para la vegetación.

Es importante que en el suministro de agua de riego se tenga certeza de que el agua utilizada sea de buena calidad, haciendo un análisis previo, para no alterar los parámetros del suelo de forma drástica.

Monitorear los parámetros del suelo puede permitir establecer estrategias para la conservación del suelo, sin embargo, analizar cada uno de los parámetros físicos y químicos resulta complejo y costoso para los agricultores por lo que se puede optar por analizar únicamente algunos parámetros de forma simple que permitan estimar la calidad del suelo de forma general.

# BIBLIOGRAFÍA

- 1) Adhikari, K. and A. E. Hartemink. (2016). Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma* 262: 101-111.
- 2) Aguilar, L. F. (1969). Efectos de los Bicarbonatos contenidos en el agua de riego sobre el suelo. Unam.mx. Recuperado el 18 de noviembre de 2022, de <http://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/58840>
- 3) Andrade, V. H. G. Z.; Redmile-Gordon, M., Barbosa, B. H. G.; Andreote, F. D.; Roesch, L. F. W. and Pylro, V. S. (2021). Artificially intelligent soil quality and health indices for 'next generation' food production systems. *Trends Food Sci. Technol.* 107:195-200.
- 4) Álvaro G. J. (2019). ¿Por qué es importante conocer la textura de un suelo agrícola? (en línea, sitio web). Consultado 18 noviembre. 2020. Disponible en <https://www.fertibox.net/single-post/textura-del-suelo>.
- 5) Arshad, M. A., Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 153-160. Recuperado a partir de [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00252-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3)
- 6) Bautista Cruz, A., Etchevers Barra, J., del Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores: Ecosistemas, 13(2). Recuperado a partir de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>
- 7) Baver, W.H., Gardner, W. R. Física de suelos. México, CRAT, 1973. 52p p.
- 8) Buckman, H. y Brady, N. C. (1966). The Nature and Properties of Soils. The Macmillan company. 590 pp.
- 9) Burbano, H. (2012). La ciencia del suelo al servicio de la sociedad y del ambiente. En: XVI Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, Riohacha, La Guajira. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá. CD ROM.c
- 10) Burbano, H. 2013a. La sociedad depende del todo y las partes: naturaleza y suelo. *Tendencias* 14:9 - 22.
- 11) Burger, J. A., & Kelting, D. L. (1999). Using soil quality indicators to assess forest stand management. *Forest Ecology and Management*, 122(1), 155-166.
- 12) Cardoso, E. J. B. N., Vasconcellos, R. L. F., Bini, D., Miyauchi, M. Y. H., Santos, A.C., Alves, P. R. L. A., de Paula, A.M., Nakatani, A.S., Pereira, J. M. & Nogueira, M. A., (2013). Soil health: lookingfor suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use andmanagement on soil health? *Sci. Agric.* 70, 274–289.
- 13) Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J. 1997. Concepts of soil quality and their significance. En *Soil quality for crop production and ecosystem health* (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- 14) Casanova, O. (1999). Acidez y encalado en suelos. Montevideo: Facultad de Agronomía.
- 15) Castellanos, R. J. Z. (2000). Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. Ed. Intagri. Gto., México. 186 p.
- 16) Castillo, B.; Ruiz, J. O.; Manrique, M. A. y Pozo, C. (2020). Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú). *Espacios*. 41(10):1-20.

- 17) Castillo-Valdez, X.; Etchevers-Barra, J. D.; Hidalgo-Moreno, C. M. I. y Aguirre-Gómez, A. (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. *Rev. Terra Latinoam.* 39:1-12.
- 18) Chalán, J. M. (2019). Agricultura convencional y agroecología frente al cambio climático. Universidad Andina Simón Bolívar. 17-18 pp.
- 19) Chavarría, F. (2009). Diseño de Relleno Sanitario para el municipio de San Ramón. Departamento de Matagalpa.
- 20) Cherubin, M. R., Karlen, D. L., Cerri, C. E., Franco, A. L., Tormena, C. A., Davies, C. A., & Cerri, C. C. (2016). Soil Quality Indexing Strategies for Evaluating Sugarcane Expansion in Brazil. *PloS one*, 11(3), e0150860.
- 21) Commegna, M. A.; Aguirre, M. E. y Santamaría, R. M. (1993) Evaluación del potencial de contracción-hinchamiento de Argiudoles en relación con su aptitud para la labranza cero. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mendoza, Argentina.
- 22) CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2016). Biodiversidad Mexicana. En: Ecosistemas. Procesos ecológicos. <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/procesose.htm>; consulta: noviembre, 2016.
- 23) Diacono, M. and F. Montemurro. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30:401-422
- 24) Díaz, A.; Gebler, L.; Maia, L.; Medina, L. y Trelles, S. (2017). Buenas prácticas agrícolas para una agricultura más resiliente. Lineamientos para orientar la tarea de productores y gobiernos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- 25) Díaz, I. (2018). Mecánica de suelos -Lambe y Whitman. [https://www.academia.edu/37808584/Mec%C3%A1nica\\_de\\_suelos\\_Lambe\\_y\\_Whitman](https://www.academia.edu/37808584/Mec%C3%A1nica_de_suelos_Lambe_y_Whitman)
- 26) Doran, J.W. y Parkin, B.T. (1994). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- 27) FAO. (1977). Guía para la descripción de perfiles de suelos. FAO. Roma.
- 28) FAO, (2001). Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. Rome, 58 p.
- 29) FAO. (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations/ITPS. Intergovernmental Technical Panel on Soils.. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Rome.
- 30) FAO. (2019). Detengamos la erosión del suelo para garantizar la seguridad alimentaria en el futuro. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado el 28 de noviembre de 2022, de <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1193735/Z>
- 31) FAO/UNESCO. (1998). Clasificación de suelos, cuarta edición, 45-65, 180p.
- 32) Ferrera Cerrato, R., & Alarcón, A. (2001). La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. Redalyc.org. Recuperado el 18 de noviembre de 2022, de <https://www.redalyc.org/pdf/104/10402108.pdf>
- 33) Francis, C. (1986), Multiple cropping systems, New York: MacMillan.
- 34) FORTIN, M.-C, ROCHETTE, P., PATTEY, E., 1996. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60, 1541-1547

- 35) Gardi, C.; Angelini, M.; Barceló, S.; Comerma, J.; Cruz Gaistardo, C.; Encina, A.; Jones, A.; Krasilnikov, P.; Mendonça, M.; Montanarella, L.; Muñiz, O.; Schad, P.; Vara, M.; Vargas, R. (2014). Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995, Luxembourg, 176 p.
- 36) Garrido Valero, S., & Agrónomot, I. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Gob.es. Recuperado el 27 de octubre de 2022, de [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_05.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf)
- 37) Gómez, J. C., (2013). Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. Centro agropecuario la granja. Espinal-Tolima.
- 38) Hartge, K. H. y R. Horn. (1991). Einführung in die Bodenphysik. Ferdinand Enke, Stuttgart (REA) 2 ed. 287 p
- 39) Hillel, D. (1998) Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations. Academic Press, Waltham.
- 40) Hodgson, J.M. ed. (1974). Soil survey field handbook, tech monog. No. 5. Soil Survey Rothamsted Exp. Sta., Harpenden, England.
- 41) ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta Aproximación. Manual de Asistencia Técnica No.25. Centro de Investigación Tibaitata. Editorial Ediciones. 64 p.
- 42) Ibáñez, J. J. (2007). Carbonatos del Suelo: Curso de Diagnóstico de Suelos en Campo (Régulo León Arteta). Un Universo invisible bajo nuestros pies - Los suelos y la vida. Recuperado de: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/01/64693>
- 43) INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Guía para la interpretación de cartografía Edafología, serie III. México. 2014.
- 44) INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Mapas. Edafológicos. Recuperado el 28 de octubre de 2022, de <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- 45) JACKSON, M.L., 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Bertrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p
- 46) Jastrow, D. D., Miller R. M., and Lussenhop J. (1997) Interactions of biological mechanisms contributing to soil aggregate stabilization in restored prairie. Soil Biol. Biochem.
- 47) Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Science Society of America Journal, 61(1), 4-10.
- 48) Laban, P., Metternicht, G., & Davies, J. (2018). Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas. IUCN, International Union for Conservation of Nature.
- 49) Lal, R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub> - enrichment. Soil Till. Res. 43, 81-107.
- 50) Lynch J., Bragg E. (1985). Microorganisms and soil aggregate stability. Adv. Soil Science 2: 133-171.
- 51) Makeyev, A. O. & Berkgaut, V. V. (1989). Weathering of silicates as a source of mineral nutrients for plants, as exemplified by soils with texturally-differentiated profile of the Komi ASSR. Sov. Soil Sci. 21 (3): 42-52.

- 52) Marschner, H. (2011) Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd edition. Academic Press, London.
- 53) Martínez H, E., Fuentes E, J. P., & Acevedo H, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades Del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68–96.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-27912008000100006>
- 54) Martínez, M.; Moya, V.J.; Blas, E.; Cervera, C., 2008. The use of maize ear in rabbit diets: nutritive value and effect on fattening performance. *Agrocencia*, 42 (2): 151-156
- 55) Molina, E. y Meléndez, G. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Mimeo.
- 56) Montanarella, L. (2015). Agricultural policy govern our soils. *Nature*. 528:32 - 33.
- 57) Montenegro H, Malagón D. (1990). Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Subdirección Agrológica, Colombia, 813 p.
- 58) NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelo, estudios, muestreo y análisis. Evaluación de la conformidad para muestreo de suelo.
- 59) Oades, J.M. (1984) Soil Organic Matter and Structural Stability: Mechanisms and Implications for Management. *Plant and Soil*, 76, 319-337.
- 60) Olson, K. R. (1985). Characterization of pore size distributions within soils by mercury intrusion and water - release methods. *Soil Sci.*, 139 (5):400 - 404.
- 61) OBIO. Observatorio Nacional de Biodiversidad. (2016). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. Suelos. Buenos Aires, Argentina. En:  
<http://obio.ambiente.gob.ar/suelos>
- 62) Pérez, J., Isabel J., (2017), Cambio del uso del suelo en la Sierra Madre del Sur entre los años 2000 y 2017. El caso de la comunidad de Progreso Hidalgo, municipio de Villa Guerrero, Estado de México”, *Geografía Agrícola*, 59 (102), Chapingo, México, Universidad Autónoma Chapingo, pp. 101-126, doi: [dx.doi.org/10.5154/r.rga.2017.59.002](https://doi.org/10.5154/r.rga.2017.59.002).
- 63) Pinilla Quezada, H., Herrera Floody, L., Benavente I, R., & Sanhueza Roa, H. (2011). Efecto del magnesio en el rendimiento y contenido de gluten en trigo (*Triticum aestivum* L.) en un suelo andisol. *Idesia*, 29(2), 53–57.
- 64) Porta C., J., M. López-Acevedo y C. Roquero. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- 65) Porta Casanellas Jaume y Lopez-Acevedo Reguerin Marta. 2005. Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ed Mundi Prensa.
- 66) Prasad, R. and Power, J. F. (1997) *Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture*. Lewis Publishers. Boca Raton. New York. 243-356p.
- 67) Quirk J, Murray R. 1991. Towards a model for soil structural behavior. *Aust. J. Soil Res.* 29: 829- 867.
- 68) Raven, J. A. (2017) Chloride: essential micronutrient and multifunctional beneficial ion. *Journal of Experimental Botany* 68, 359-367
- 69) Reicosky, D.C, 2002. Long - Term Effect of Moldboard Plowing on Tillage - Induced CO<sub>2</sub> Loss, in J. M. Kimble, R. Lai and R. F. Follet: *Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil*. Lewis Publishers. Papers from symposium held July 1999 at Ohio State University, Columbus, Ohio, 87-96 p.

- 70) Romero Franco, R. (1989). Familias mineralógicas de los suelos sobre granitos de la provincia de la Coruña. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago.
- 71) Romig, D.E., Garlynd, M.J., Harris, R.F. y McSweeney, K. 1995. How farmers assess soil health and quality. *J. Soil Water Conservation* 50: 229-236.
- 72) Rosell, R. A., 1999. Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos. *Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. (Texto completo en CD Rom.) Pucón, Chile.
- 73) Rossiter, D. G., 1996. A theoretical framework for land evaluation. *Geoderma* 72, 165–190. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(96\)00031-6](https://doi.org/10.1016/0016-7061(96)00031-6). Elsevier.
- 74) Rucks, L., García, F., Kaplan, A., Ponce de Leon, J., Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del suelo*. Departamento de suelos y agua, facultad de agronomía, Universidad de la República. Montevideo-Uruguay.a
- 75) Salomé, C., Coll, P., Lardo, E., Metay, A., Villenave, C., Marsden, C., ... & Le Cadre, E. (2016). The soil quality concept as a framework to assess management practices invulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards. *Ecological Indicators*, 61, 456-465.
- 76) Scherr, S. y Yadav, S. (1997). Soil degradation. A threat to developing-country food security by 2020. International Food policy Research Institute. Recuperado de: <http://www.ifpri.org/publication/soil-degradation>
- 77) Schulze D. G. (1993). Significance of organic matter in determining soil colors. *Soil Color. Special publication* (31). Soil Sciencia Society of America. (p71-90) Madison, WI. USA.
- 78) Schwertmann, U. (1993). Relaciones entre los óxidos de hierro, el color del suelo y la formación del suelo Bigham, JM y Ciolkosz, EJ *Color del suelo*. Especificaciones SSSA. publ. 31 1993 51 – 69 SSSA Madison, WI
- 79) Silva, S.; Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*. 23:13-34.
- 80) Singer, M.J. y Ewing, S. 2000. Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- 81) Singh, R. y Pathak, R. (2003). Response of wheat (*Triticum aestivum*) to integrated nutrition of K, Mg, Zn, S and biofertilization. *Journal of the Indian Society of Soil Science*. 2003, vol. 51, no 1, pp. 56-60.
- 82) Soil Survey Division Staff (1993) *Soil Survey Manual*. USDA Handbook No. 18, US Government Printing Office, Washington DC. Recuperado el 28 de noviembre de 2022, de <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre50.pdf>
- 83) Soil Survey Laboratory Methods Manual, USDA/Rebecca Burt. *Soil Survey Investigations Report No. 42*, (NOVEMBER, 2004) versión 4.0
- 84) SWIFT, R. S., (2001). Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.*, 166, 858-871.
- 85) Singer, M. J. y Ewing, S. (2000). Soil Quality. En *Handbook of Soil Science*. Chapter 11 (ed. Sumner, M. E.), 271-298, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- 86) Soil Survey Staff. (1998). *Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Second edition. United States Department of Agriculture. Natural Resources Consvration Service. Washington, DC. USA. 326 p

- 87) Tisdall, J. M. and Oades J. M. (1982). Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 140-162.
- 88) Tisdale, S. y Nelson, W. (1993). *Soil fertility and fertilizers*. MacMillan Publishing Company. New York
- 89) Trinidad-Santos, A. (2018). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agro Productividad*, 9(8). Recuperado a partir de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/802>
- 90) USDA. United States Department of Agriculture (2017). Standard Query. Foreign Agricultural Service. Retrieved from <https://apps.fas.usda.gov/gats/ExpressQuery1.aspx>.
- 91) Valenzuela-Martínez, C.; Romano-Casas, G.; Cuadras-Berrelleza, A. A. y Ortega-Martínez, L. D. (2019). Plaguicidas, impacto en salud y medio ambiente en Sinaloa (México): implicaciones y retos en gobernanza ambiental. *Trayectorias humanas transcontinentales*. 4:105-122.
- 92) WBR. Base referencial mundial del recurso suelo (2014). *Fao.org*. Recuperado el 28 de noviembre de 2022, de <https://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>
- 93) White, P. J., and Broadley, M. R. (2001). Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: a review. *Annals of Botany* 88, 967-988.
- 94) Yong, R. N.; Warkentin, B. P.; Phadungchewit, Y. and Galvez, R. (1990). Buffer capacity and lead retention in some clay. *Water, Air, and Soil Pollution*. 53: 53-67.
- 95) Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M., & Faz, A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil*, 1(1), 173.