

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Diagnóstico de los niveles de degradación de los suelos del fundo el
Milagro - Santa María - Huaura - Lima

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO

AUTORA

Bethzaida Cotrina Peña

ASESOR

Honorio Eloy Munive Jáuregui

Huaura, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

| | |
|-----------------------------------|--|
| Nombres | |
| Apellidos | |
| Tipo de documento de identidad | |
| Número del documento de identidad | |
| Número de Orcid (opcional) | |

Datos del asesor

| | |
|-----------------------------------|--|
| Nombres | |
| Apellidos | |
| Tipo de documento de identidad | |
| Número del documento de identidad | |
| Número de Orcid (obligatorio) | |

Datos del Jurado

Datos del presidente del jurado

| | |
|-----------------------------------|--|
| Nombres | |
| Apellidos | |
| Tipo de documento de identidad | |
| Número del documento de identidad | |

Datos del segundo miembro

| | |
|-----------------------------------|--|
| Nombres | |
| Apellidos | |
| Tipo de documento de identidad | |
| Número del documento de identidad | |

Datos del tercer miembro

| | |
|-----------------------------------|--|
| Nombres | |
| Apellidos | |
| Tipo de documento de identidad | |
| Número del documento de identidad | |

Datos de la obra

| | |
|--|--|
| Materia* | |
| Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: | |
| Idioma (Normal ISO 639-3) | |
| Tipo de trabajo de investigación | |
| País de publicación | |
| Recurso del cual forma parte (opcional) | |
| Nombre del grado | |
| Grado académico o título profesional | |
| Nombre del programa | |
| Código del programa Consultar el listado: | |

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 010 - 2022/UCSS/FIA/DI

Siendo las 10:00 a. m. del día 15 de noviembre de 2021 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. Roger Manuel Mestas Valero | presidente |
| 2. Alejandro Ruiz Janje | primer Miembro |
| 3. Luis Darío Santillán García | segundo Miembro |
| 4. Honorio Eloy Munive Jáuregui | asesor |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Diagnóstico de los niveles de degradación de los suelos del fundo el Milagro-Santa María-Huaura-Lima** que presenta la bachiller en Ciencias Agrarias, **Bethzaida Cotrina Peña** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Agrónomo**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **SUFICIENTE** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AGRÓNOMO.

Lima, 15 de noviembre de 2021.



Roger Manuel Mestas Valero
PRESIDENTE



Alejandro Ruiz Janje
1° MIEMBRO



Luis Darío Santillán García
2° MIEMBRO



Honorio Eloy Munive Jáuregui
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, que es la fortaleza y el horizonte de mi vida, gracias a el aprendí a seguir adelante afrontando los problemas sin perder la dignidad ni desfallecer en los intentos.

A mis padres Edith Peña Cruz y Marcial Cotrina Saldívar, quienes me formaron con valores. A mis hermanos Einstein, Fernando y Bethzabé, que siempre han estado conmigo, brindándome el apoyo constantemente hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Para mi esposo José Vega Sandón y mis hijos David y Gael, por la paciencia que me han brindado y por el apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor, el Dr. Honorio Eloy Munive Jáuregui, por su dedicación, enseñanza, paciencia, los consejos, la motivación y sobre todo por el apoyo en esta etapa de mi vida profesional.

A la Ingeniera Karina Matta Santiváñez, por brindarme consejos para poder culminar mis estudios.

A mis profesores de la Facultad de Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, filial Huaura, por todos los conocimientos y momentos compartidos, por cada clase que ha aportado a mi formación profesional.

A Don Luis Jesús Vega Zevallos y esposa, Doña Dominga Sandón Retuerto, propietarios del fundo “El Milagro” por su colaboración en el trabajo experimental, por la disponibilidad y apoyo brindado durante el proceso de la ejecución de la investigación en general.

A mi esposo, José Vega Sandón, por la motivación, la colaboración brindada en las tareas de campo y su incondicional apoyo en todo el proceso de esta etapa importante de mi vida profesional.

Al Reverendo Padre Antonio Colombo y sus hermanos, por el apoyo económico que me brindaron en el desarrollo de mi formación profesional.

Finalmente, y no menos importante, a mis amigos Esther, Jelsin, Reina y Milagros, por estar conmigo en todos los momentos dándome fuerza, motivándome, ayudándome en cualquier circunstancia a pesar de la distancia.

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|---|------|
| ÍNDICE GENERAL..... | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | ix |
| ÍNDICE DE FIGURAS | x |
| ÍNDICE DE APÉNDICES | xii |
| RESUMEN..... | xiii |
| ABSTRACT | xiii |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| OBJETIVOS..... | 3 |
| CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO | 4 |
| 1.1. Antecedentes | 4 |
| 1.2. Bases teóricas especializadas | 12 |
| 1.2.1. El suelo | 12 |
| 1.2.2. Propiedades del suelo | 16 |
| 1.2.3. Degradación del suelo..... | 30 |
| 1.2.4. Degradación y calidad del suelo | 34 |
| 1.2.5. Fertilidad física, química y biológica del suelo | 36 |
| 1.2.6. Indicadores de la calidad del suelo | 38 |
| 1.2.7. Proceso de degradación y tipos de degradación | 41 |
| 1.2.8. Índices de degradación de los suelos | 49 |
| CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS | 51 |
| 2.1. Diseño de la investigación | 51 |
| 2.2. Lugar y fecha de ejecución | 51 |
| 2.3. Población y muestra | 52 |
| 2.4. Materiales..... | 53 |
| 2.5. Técnicas e instrumentos | 54 |

| | |
|---|-----|
| 2.6. Descripción de la investigación | 54 |
| 2.7. Identificación de las variables y su mensuración | 56 |
| 2.8. Análisis de datos | 57 |
| CAPÍTULO III: RESULTADOS | 60 |
| 3.1. Caracterización de los perfiles del suelo | 60 |
| 3.1.1. Descripción de los perfiles de suelos | 60 |
| 3.1.2. Resultados del análisis de los suelos del fundo “El Milagro” | 63 |
| 3.2. Determinación de los índices de degradación de los suelos | 68 |
| 3.2.1. Determinación del índice de degradación física | 68 |
| 3.2.2. Determinación de los índices de degradación química..... | 70 |
| 3.2.3. Determinación del índice de degradación biológica..... | 73 |
| 3.2.4. Niveles de degradación física, química y biológica de los suelos del fundo “El Milagro” | 74 |
| 3.3. Correlaciones entre las características y los niveles de degradación..... | 74 |
| 3.3.1. Correlación características vs. degradación física, química y biológica..... | 74 |
| CAPÍTULO IV: DISCUSIONES | 76 |
| 4.1. Caracterización de los perfiles de suelo..... | 76 |
| 4.1.1. Descripción de los perfiles..... | 76 |
| 4.1.2. Resultados del análisis de los suelos del fundo “El Milagro” | 77 |
| 4.2. Índices de degradación de los suelos del fundo “El Milagro” | 80 |
| 4.3. Correlaciones entre las características y los niveles de degradación de los suelos ... | 81 |
| CAPÍTULO V: CONCLUSIONES | 84 |
| CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES | 87 |
| REFERENCIAS | 88 |
| TERMINOLOGÍA | 100 |
| APÉNDICES | 103 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. <i>Algunas propiedades de los diferentes tamaños de partículas del suelo</i> | 18 |
| Tabla 2. <i>Rangos interpretativos para la CIC</i> | 26 |
| Tabla 3. <i>Clases de calidad de suelos</i> | 35 |
| Tabla 4. <i>Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo</i> | 40 |
| Tabla 5. <i>Puntos de muestreo</i> | 53 |
| Tabla 6. <i>VARIABLES, UNIDADES DE MEDIDA Y MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES DE DEGRADACIÓN</i> | 56 |
| Tabla 7. <i>Niveles de degradación de los suelos</i> | 59 |
| Tabla 8. <i>Descripción del perfil modal CA-01</i> | 61 |
| Tabla 9. <i>Descripción del perfil modal CA-06</i> | 62 |
| Tabla 10. <i>Resultados del análisis textural de los suelos del fundo “El Milagro”</i> | 66 |
| Tabla 11. <i>Resultados de las relaciones catiónicas de los suelos del fundo “El Milagro”</i> | 67 |
| Tabla 12. <i>Resultados del porcentaje de saturación de sodio de los suelos del fundo “El Milagro”</i> | 68 |
| Tabla 13. <i>Datos requeridos para el cálculo del índice de encostramiento (IE)</i> | 69 |
| Tabla 14. <i>Cálculo de la capacidad de campo y punto de marchitez permanente</i> | 69 |
| Tabla 15. <i>Resultados de la determinación de los índices de degradación física</i> | 70 |
| Tabla 16. <i>Datos requeridos para el estimado del agua as saturación (Hs)</i> | 71 |
| Tabla 17. <i>Datos requeridos para la determinación de la CEe</i> | 72 |
| Tabla 18. <i>Datos requeridos para el cálculo del contenido de sales</i> | 72 |
| Tabla 19. <i>Datos requeridos para el cálculo de la degradación química</i> | 73 |
| Tabla 20. <i>Datos requeridos para el cálculo del índice de degradación biológica</i> | 73 |
| Tabla 21. <i>Resumen de los índices de degradación de los suelos del fundo “El Milagro”</i> .. | 74 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| <i>Figura 1.</i> Características generales de la calicata modal CA-01..... | 61 |
| <i>Figura 2.</i> Características generales de la calicata modal CA-06..... | 62 |
| <i>Figura 3.</i> Resultados del análisis del pH de los suelos del Fundo “El Milagro”..... | 63 |
| <i>Figura 4.</i> Resultados del análisis de la CE de los suelos del Fundo “El Milagro”.. | 64 |
| <i>Figura 5.</i> Resultados del análisis del contenido de CaCO ₃ de los suelos del Fundo “El Milagro”..... | 64 |
| <i>Figura 6.</i> Resultados del contenido de MO de los suelos del Fundo “El Milagro” | 65 |
| <i>Figura 7.</i> Resultados del contenido de P de los suelos del Fundo “El Milagro”.. | 65 |
| <i>Figura 8.</i> Resultados del contenido de K de los suelos del Fundo “El Milagro”..... | 66 |
| <i>Figura 9.</i> Resultados de la CIC de los suelos del fundo “El Milagro” | 67 |

ÍNDICE DE APÉNDICES

| | Pág. |
|---|------|
| Apéndice 1. Mapa y puntos de muestreo del fundo “El Milagro” | 103 |
| Apéndice 2. Resultados del análisis de los suelos del fundo “El Milagro” | 104 |
| Apéndice 3. Tablas para la interpretación de análisis de los suelos en estudio..... | 105 |
| Apéndice 4. Fichas de descripción de perfiles de fundo “El Milagro” | 108 |
| Apéndice 5. Fotografías de las calicatas estudiadas en el fundo “El Milagro” | 118 |
| Apéndice 6. Correlaciones entre los parámetros utilizados y la degradación física, química y biológica de los suelos..... | 121 |
| Apéndice 7. Fotografía del trabajo de campo y toma de muestras..... | 124 |

RESUMEN

La presente investigación fue ejecutada en suelos del fundo “El Milagro” ubicado en el centro poblado “El Paraíso”, del distrito de Santa María, provincia de Huaura, región Lima, cuya ubicación geográfica es 11° 11' 13" de latitud sur y 77° 38' 25" de longitud oeste del Meridiano de Greenwich, con una altitud promedio de 90 m s.n.m. y una extensión de 15 ha. La finalidad del estudio fue conocer los niveles de degradación física, química y biológica de los suelos en base a la evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Para tal efecto, se ubicaron al azar diez puntos de muestreo dentro del área en estudio, donde se construyeron diez calicatas: CA-01, CA-02, CA-03, CA-04, CA-05, CA-06, CA-07, CA-08, CA-09 y CA-10, realizándose luego la evaluación de los perfiles a nivel del horizonte superficial (capa arable), encontrándose dos unidades edáficas: (a) Suelos muy superficiales con moderada gravosidad y pendiente ligeramente inclinada, y (b) Suelos superficiales con ligera gravosidad y pendiente moderadamente inclinadas. Con los resultados del análisis de los suelos, se procedió a la evaluación de la degradación física, química y biológica de los suelos en estudio mediante los parámetros sugeridos por De Paz *et al.*, (2006), encontrándose que los niveles de degradación física, química y biológica de los suelos están en un nivel medio de manera general y que para evitar que estos niveles de degradación se incrementen y produzcan una clara pérdida de la calidad productiva de estos suelos, debe tenerse en cuenta un reajuste de los planes de fertilización, en el manejo de las enmiendas orgánicas y el uso racional de la fertilización química, así para evitar el aumento en el contenido de carbonatos, en el pH y en la salinidad, sin dejar de lado la capacidad de intercambio catiónico.

Palabras claves: Degradación del suelo, propiedades del suelo, puntos de muestreo, perfil del suelo, enmiendas orgánicas, relaciones catiónicas.

ABSTRACT

This research was carried out on soils of the “El Milagro” farm located in the town center “El Paraíso”, in the district of Santa Maria, Huaura province, Lima region, whose geographical location is 11 ° 11 '13' latitude South and 77 ° 38 '25' West Longitude of the Greenwich Meridian, with an average altitude of 90 meters above sea level and an area of 15 ha. The purpose of the study was to know the levels of physical, chemical and biological degradation of the soils based on the evaluation of the physical, chemical and biological properties. For this purpose, ten sampling points were randomly located within the study area, where ten pits were built: CA-01, CA-02, CA-03, CA-04, CA-05, CA-06, CA-07, CA-08, CA-09 and CA-10, then carrying out the evaluation of the profiles at the level of the surface horizon (arable layer), finding two edaphic units: (a) Very superficial soils with moderate graviness and slightly inclined slope, and (b) Surface soils with slight gravities and moderately steep slopes. With the results of the soil analysis, the physical, chemical and biological degradation of the soils under study was evaluated using the parameters suggested by De Paz *et al.* (2006), finding that the levels of physical, chemical and biological degradation of the soils are at a medium level in general and that to avoid that these levels of degradation increase and produce a clear loss of the productive quality of these soils, it must be taken into account a readjustment of fertilization plans, in the management of organic amendments and the rational use of chemical fertilization, thus to avoid the increase in carbonate content, pH and salinity, without neglecting the capacity of cation exchange.

Keywords: Soil degradation, soil properties, sampling points, soil profile, organic amendments, cationic relationships.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la población tiene un crecimiento acelerado que ha provocado un consumo alimenticio mayor, generando la sobre explotación del suelo, el cual produce los alimentos y las fibras para satisfacer las necesidades de la humanidad. Este recurso es muy escaso en el país y a pesar de esta limitación viene siendo manejado, conservado y utilizado deficientemente, sin tener en cuenta que los suelos están sujetos a graves problemas como el severo proceso de degradación que está destruyendo su fertilidad. Cotler *et al.* (2007) señalan que las poblaciones humanas más recientes consideran a los suelos como un recurso simple que únicamente sirve de soporte mecánico para el crecimiento de las plantas o como los lugares donde se establecen los asentamientos humanos, dejando de lado la importancia que tiene en los fenómenos biológicos, ecológicos, fisicoquímicos, socioeconómicos y culturales. Este concepto estrecho de lo que significa el suelo es la causa conjuntamente con otros factores, de los procesos de destrucción y degradación que están afectando a este importante recurso.

Por otro lado, considerándose lo planteado por la Agencia Europea de Medio Ambiente- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [EEA-PNUMA] (2002), que el suelo tiene una alta capacidad de filtro, amortiguamiento, resiliencia, así como el absorber sustancias contaminantes estos ocasionan que los suelos degradados no son percibidos hasta que se encuentre en una fase muy avanzada de degradación. Es probable que esta condición sea la razón principal del por qué no se toman acciones en la protección del suelo. En la actualidad, después de muchos años de un deficiente uso y manejo del recurso suelo, se puede observar con mayor claridad los signos e impactos que está produciendo la degradación. Consecuentemente, las medidas correctivas son costosas y en ocasiones no resultan plenamente viables, así como también las medidas preventivas para no heredar el problema de degradación a las generaciones futuras no son aplicadas oportunamente. La degradación producida por causas naturales o como consecuencia del deficiente uso y manejo de los suelos como parte de las actividades realizadas por el hombre, altera en el nivel de fertilidad natural del suelo y merma considerablemente su capacidad para sostener una agricultura productiva y sostenible (EEA-PNUMA, 2002).

La degradación del suelo es un fenómeno que está estrechamente relacionado con las diversas actividades que realiza el hombre y que están provocando la reducción de la capacidad actual y futura de los suelos para mantener a los ecosistemas, ya sean naturales o manejados, impidiendo así, la seguridad de los servicios ambientales esenciales para la vida (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2002). Por lo tanto, en estas épocas actuales existe un desequilibrio ecológico producido por el hombre, una alteración de las condiciones ambientales y un uso no sostenible del recurso suelo, son necesarios los estudios de este recurso no renovable, así como la obtención de datos concretos para determinar su calidad y mejorar su uso.

Teniéndose en cuenta los conceptos descritos anteriormente, se planteó la ejecución de este trabajo de investigación con la finalidad de conocer los niveles de degradación tanto física, química y biológica que se está produciendo en los suelos del fundo “El Milagro”, considerándose una secuencia actividades que incluyó cuatro fases: fase preliminar, fase de campo, fase de laboratorio y fase de gabinete. La investigación fue de tipo no experimental, donde los factores considerados fueron evaluados de acuerdo a la metodología propuesta por De Paz *et al.* (2006), en base a los diferentes parámetros con la finalidad de conocer los niveles de degradación de los suelos en estudio para luego plantear las medidas correctivas para evitar que estos suelos sigan aumentando los niveles de degradación en que se encuentran, orientados a la conservación de la capacidad productiva, que de ser afectada causaría un impacto negativo en la economía de los productores agrícolas de la zona en estudio.

OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar los niveles de la degradación física, química y biológica de los suelos del fundo “El Milagro” ubicado en el distrito de Santa María, provincia de Huaura, de la región Lima.

Objetivos específicos

- a. Describir *in situ* los suelos del fundo “El Milagro” con la finalidad de conocer el estado de sus principales propiedades físicas, químicas y biológicas, especialmente aquellas relacionadas con la degradación del suelo.
- b. Determinar los niveles de degradación física, química y biológica de los suelos del fundo “El Milagro” en base de la descripción morfológica y de los resultados obtenidos en el análisis de caracterización de los perfiles de suelos del fundo es estudio.
- c. Correlacionar los índices de degradación física, química y biológica obtenidos mediante la investigación con los parámetros utilizados para la evaluación de los suelos del fundo “El Milagro”.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Acevedo *et al.* (2021) realizó una “Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor I (Ecuador)”. El objetivo de este trabajo fue evaluar el nivel de degradación que pudiera existir en los suelos agrícolas de la zona hortícola de Quíbor I, estado de Lara, Venezuela, con sistemas productivos utilizando el análisis multivariado. La metodología consistió en la aplicación de un experimento de parcelas grandes mediante muestreos en cuadrícula 10 x10 m en los suelos bajo el sistema de cultivo convencional de “maíz” *Zea mays* L. y de la “cebolla” *Allium cepa* L. En cada punto de muestreo fueron colectadas muestras de suelo en tres estratos (0-5, 5-18 y 18-50 cm de profundidad) y fueron considerados los siguientes atributos: (a) químicos: pH, CE, contenido de macronutrientes, CIC y nitrógeno total; (b) físicos: textura, distribución del tamaño de partículas, densidad aparente, porosidad total, macro y micro porosidad y estabilidad de los agregados; y (c) biológicos: respiración basal, biomasa microbiana, coeficiente metabólico y la relación carbono microbiano-carbono orgánico. Fue aplicado un análisis de componentes principales en conjunto a los resultados de las características utilizando el paquete estadístico InfoStat versión 2008 y fueron tomados como indicadores aquellos atributos que resultaron correlacionados en más del 80 % con el componente que explicó la mayor variación. Los resultados del análisis de componente principales (ACP) de los atributos físicos, químicos y biológicos para los tres estratos estudiados mostraron que los atributos con los valores más altos en el segundo y tercer estrato estuvieron en el sistema convencional “cebolla”, a diferencia de lo que ocurrió en el estrato más superficial. En cambio los atributos con correlación negativa al CP1, que representaron valores altos para el suelo bajo el sistema convencional “maíz” fueron el contenido de arena, limo, relación C/N, CO/Al y Ca/Mg, asociados a la textura del suelo (franco arcillo- limosa), así como bajo

contenido de magnesio. Para el CP2, los atributos con correlación positiva fueron el contenido de calcio y la relación Ca/K los cuales reflejan que los puntos de muestreo presentaron variabilidad en los contenidos de cationes en el suelo. La principal conclusión fue que los atributos físicos, químicos y biológicos utilizados reflejan condiciones importantes de degradación de suelos en los sistemas convencionales de “cebolla” y “maíz” relacionadas con las características intrínsecas y de manejo.

Gómez (2019) realizó el “Estudio de la degradación de suelos y tierras por desertificación en la jurisdicción de la CAR”. El objetivo del trabajo fue analizar la degradación de suelos y tierras afectadas por la desertificación orientada a una gestión sostenible en el área de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), que es una zona donde la desertificación estuvo amenazando y afectando seriamente desde varias décadas atrás. La metodología del estudio adoptó tres fases consideradas en el protocolo de degradación de suelos por desertificación, teniendo en cuenta que la zonificación de la desertificación fue un modelo de fuerzas motrices, presiones, estado, impacto y respuesta (FPEIR). En una primera fase identificó, analizó y evaluó los diferentes factores biofísicos y socioeconómicos que originaron la degradación de suelos en la jurisdicción de la CAR que representó un área de 688,95 ha, mientras que en la segunda fase identificó los componentes e indicadores asociados a la desertificación y la última fase realizó el análisis y evaluación de los procesos de la degradación en base a los datos obtenidos en la primera fase e identificados en la segunda. Los resultados obtenidos mostraron que el 36,7 % de las tierras de la jurisdicción de la CAR presentó algún grado de susceptibilidad a la desertificación. Los grados altos de susceptibilidad a la desertificación fueron encontrados en un área de 200,82 ha y los grados moderados estuvo en 272,42 ha, mientras que los grados bajos fueron observados en una extensión de 215,71 ha. Además, las áreas prioritarias de intervención (API) mostraron serios problemas de salinización y de erosión que indicaron la degradación de los bienes y servicios ecosistémicos de la zona que afectaron a los recursos naturales (flora y fauna, agua y aire), así como al componente socioeconómico de estas tierras como consecuencia del deficiente uso agrícola y ganadero y al impacto sobre las zonas artificiales y mineras que fueron desarrolladas en la jurisdicción. Dentro de las principales conclusiones para luchar contra la desertificación buscando la degradación neutra de las tierras (DNT) fue

la necesidad de aplicar indicadores de respuesta tanto en los componentes ecológicos, económicos y sociales, así como en lo político e institucional.

Mogollón *et al.* (2014) realizaron la evaluación de la “Degradación química de los suelos agrícolas en la península de Paraguaná, Venezuela.”, estableciendo indicadores de calidad de este recurso en los sistemas hortícolas del sector de Jadacaquiva. La investigación fue realizada en el fundo “El Guárico” (microcuenca El Socorro-Jadacaquiva del Municipio Falcón) con una superficie total de 57 hectáreas a una altitud de 54 m s.n.m., donde evaluaron los tipos de uso de la tierra (UT): (i) Producción de “melón” *Cucumis melo* L., bajo sistema intensivo, con labranza convencional, riego por goteo y fertilización química; (ii) Producción de “sábila” *Aloe vera* M., bajo labranza cero y sin fertilización ni riego; y (iii) Suelo bajo vegetación natural (control o testigo). Dentro de la evaluación consideraron las variables químicas como el pH, la conductividad eléctrica (CE), el carbono orgánico (CO), las bases cambiables (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+}) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI). La investigación fue un modelo cuasiexperimental interpretado “como un diseño completamente aleatorio, con el tipo de uso de tierra como variable de clasificación (un factor)” (p.25). “De cada tipo de” (p.25) UT fueron tomadas siete muestras a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm). Los resultados obtenidos indicaron los siguientes efectos: El tipo de uso de las tierras (TUT) afecto notoriamente al cultivo del “melón” sometido a un proceso de producción tradicional porque fue la causa de problemas notorios dentro la degradación química, con una drástica merma en el contenido materia orgánica del suelo (MOS), con mayores probabilidades ($p < 0,05$) en la capa arable del suelo (horizonte Ap) con 10 cm de profundidad, encontrándose una significativa merma en el horizonte subsuperficial (10-20 cm). Los valores más altos de CE fueron encontrados en los suelos con TUT de “melón”, mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) en este parámetro respecto al TUT con “sábila” y con vegetación natural, no encontrándose diferencias entre estos dos últimos. Asimismo, el “manejo alternativo con “sábila” presentó mejores condiciones de suelo al observarse un incremento en el contenido de CO con valores similares (p. 25) en la CE comparativamente con el bosque natural” (p.25). Concluyeron que el tipo de uso de la tierra con “melón” bajo manejo convencional muestra mayores problemas de degradación química porque presentó bajo contenido de carbono orgánico, mayores valores de conductividad eléctrica y niveles altos de sodio intercambiable.

Romero (2014) caracterizó el estado de degradación y las posibilidades de recuperación de suelos representativos de la pedanía Salto del departamento Tercero Arriba, Córdoba, Argentina, en los sistemas agrícolas de la región mediante la determinación del grado de resiliencia de los procesos de humificación y nitrificación. La investigación fue de tipo no experimental. La metodología consistió en la evaluación de tres cultivos bajo siembra directa (5 años) con diferentes secuencias de cultivos (“soja “*Glycine max*, y con las rotaciones soja/sorgo” *Sorghum bicolor* (L.) Moench y sorgo/soja) y dos cultivos bajo labranza convencional (rotación soja/sorgo/maní y soja/maní/sorgo). Además, evaluó una parcela restaurada en estado de clausura y una parcela con vegetación nativa (control). Para la caracterización de los suelos consideró la humedad, el pH, la conductividad eléctrica, la textura y el fraccionamiento por tamaño de partículas. Para la evaluación del proceso de humificación tomó en cuenta el contenido de materia orgánica total, las sustancias húmicas y los ácidos fúlvicos. El análisis estadístico de los datos del proceso de humificación y nitrificación realizada mediante el ANOVA y para analizar las diferencias entre las medias de los tratamientos tomó en cuenta la prueba de LSD ($p \leq 0,05$), previamente testada la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilk. Los resultados evidenciaron un impacto negativo de las prácticas agrícolas sobre el contenido de materia orgánica y las fracciones recalcitrantes de la misma en relación con el control (testigo). Por otro lado, el análisis de la resiliencia de la nitrificación y humificación mostraron un efecto muy escaso con relación a la siembra directa, lo contrario de la labranza convencional. Finalmente concluyó que el manejo agrícola en la región no pudo mejorar la resiliencia de los procesos de humificación y nitrificación frente al uso intensivo de los suelos porque después de 5 años de haberse adoptado sistemas con siembra directa, el grado de recuperación alcanzado fue nulo, debido a la fragilidad estructural de los suelos.

Muñoz *et al.* (2013) realizaron un estudio sobre la “Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biología de un suelo aluvial en una región semiárida”, con el objetivo de evaluar el nivel de degradación física y biológica de los suelos de una terraza fluvial de la cuenca de Zapotitlan, México, bajo distintos tipos de cobertura. La metodología del estudio consistió en evaluar ocho sitios con diferente cobertura, donde fueron tomadas muestras en zigzag de de la capa superficial del suelo a una profundidad de 20 cm con ayuda de un tubo muestreador, con la finalidad de conocer las propiedades físicas y químicas, luego con los datos obtenidos fueron calculados los índices de degradación física y biológica para

cada lugar. El diseño de la investigación consistió en análisis de la varianza y de la prueba de Tuckey con un ($p < 0,05$) para la determinación del intervalo e confianza. También fue calculado el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación (r^2), para la identificación de cuáles de las propiedades del suelo del suelo fueron las más relacionadas con la degradación. Los resultados indicaron que el índice de degradación física (IDF) mostraron degradación física muy baja en los suelos cubiertos de arbustos, mientras que la parcela desnuda al igual que la parcela agrícola en descanso exhibieron una degradación física moderada. Sin embargo, los suelos con matorrales, la parcela agrícola activa (Aa) y la parcela con la capa superficial enconstrada (Sc) estuvieron ubicadas en la zona intermedia del área en estudio presentando menor diferencia entre sí. El índice de degradación desde el punto de vista biológico (IDB), mostró un comportamiento parecido a lo sealada para el índice de degradación física, pero los suelos con mayor degradación biológica fueron aquellos que tuvieron menor contenido de materia. Según el resultado del coeficiente de correlación los IDF estuvieron relacionados con una clara alteración del porcentaje de porosidad, las densidades aparente y de partícula, estabilidad estructural, el contenido del material orgánico, el N disponible y capacidad de campo. La porosidad mostrò un mayor índice de correlación (-0,94), indicando que el carácter negativo de la correlación un relación inversa con el IDF, es decir que la porosidad disminuye cuando el IDF aumenta. Del mismo modo la estabilidad estructural fue otra de las propiedades una alta correlación inversa (-0,880). Los resultados obtenidos mostraron un relación estrecha entre degradación física, la estabilidad estructural y la presencia de la MO en el suelo. Asimismo, el IDB mostró una correlación inversa significativa inversa con el contenido de MO (-0,891), significando que que cuando el porcentaje de MO decrece la degradación biológica aumenta. La áreas con mayor cobertura vegetal (matorrales perennes), exhibieron matores niveles de materia orgánica, mostrando a la vez, una menor degradación biológica. Al contrario, los suelos desnudos y con encostramientos fueron encontrados con menor porcentaje de carbono organànico y un mayor IDB. Concluyó la cobertura del terreno y la degradación física y biológica del suelo estuvieron correlacionadas significativaente, encontrándose que cuando más densa fue la cubierta vegetal del suelo, mayor fue el contenido de materia orgánica. Como consecuencia la degradación física y biológica del suelo también fue menor, Además, tanto la porosidad y la estabilidad de los agregados deben ser mejorados mediante prácticas agrómicas, manteniéndose un nivel óptimo de materia orgánica en el suelo.

Alejo *et al.* (2012) investigaron sobre la “Degradación físico-química de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas, Nayarit”. El objetivo fue evaluar la degradación de los suelos para proponer una estrategia de remediación y recuperación de los suelos agrícolas de San Pedro Lagunillas, Nayarit, México. La metodología consistió en la evaluación de cuatro de uso agrícola y cuatro sin la intervención de la mano del hombre. Los suelos cultivados estuvieron distanciados de los suelos con vegetación natural (30-80 m). Fueron colectadas muestras compuestas de los suelos de cada parcela de estudio, derivadas de diez submuestras tomadas al azar, a las profundidades de 0 a 10, de 10 a 20 y de 20 a 30 cm y luego enviadas al laboratorio para los respectivos análisis de las características relacionadas con la fertilidad de suelos, tales como el peso de las partículas menores a 2 mm, pH, materia orgánica (MO), fósforo extractable (PE), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) intercambiables y textura. Adicionalmente en cada punto de muestreo fue medida la velocidad de infiltración del agua. Para el análisis estadístico de los resultados para la identificación de los cambios producidos por las actividades agrícolas, fueron considerados el análisis de la varianza y la prueba de comparación de las medias de Tukey ($p \leq 0,05$). Los resultados obtenidos mostraron las capas de 0 a 10 y de 10 a 20 cm, presentaron una menor cantidad de partículas menores a 2 mm, lo contrario mostraron las zonas con cobertura vegetal, atrayéndose estos resultados a la erosión hídrica que fue mayor en los suelos agrícolas. El contenido de materia orgánica fue superior en el estrato 0 a 10 cm de los suelos cultivados y fue menor en los suelos no cultivados. Asimismo, no fueron encontradas diferencias entre el pH ni en las concentraciones de fósforo, potasio, calcio y magnesio entre los suelos cultivados y no cultivados. Concluyó que la comparación entre las propiedades analizadas de los suelos cultivados y de los suelos no cultivados, demostró que la capa superficial (20 cm) de los suelos de uso agrícola, sufrieron alteraciones negativas causadas por la excesiva y deficiente labranza, mostrando un notorio descenso en el contenido de MO y del P y K disponibles, así como en el Ca y el Mg intercambiables. Asimismo, las características físicas de estos suelos fueron afectadas mostrando una pérdida notorio de las partículas menores de 2 mm, aunada a la disminución de la velocidad de infiltración del agua en un 50 %, aproximadamente.

Nacionales

Loayza (2020) investigó la “Degradación de la fertilidad química y biológica del suelo por efecto del cultivo intensivo de la “papa” *Solanum tuberosum* L. en Potreropampa, Andahuaylas, Apurímac” (p. 1). “El objetivo fue conocer las causas de la degradación de la fertilidad química y biológica del suelo por efecto del cultivo intensivo de la “papa” en el sector de Potreropampa” (p. 16). El método planteado fue conocer el efecto del monocultivo y sugerir acciones para lograr el mejoramiento de la calidad productiva de los suelos afectados por el cultivo continuado de la “papa”, mediante la elección de cuatro lugares de referencia que fueron analizados. Para lo cual fueron tomadas en cuenta áreas cultivadas y definidas por los productores como tierras para el cultivo de la “papa” con alta, media y baja intensidad. Asimismo fue levantada una encuesta relacionada con la intensidad de siembra de la “papa” a 28 familias de Potreropampa y los resultados mostraron que la mitad (50 %) de los núcleos familiares realizaron estas labores por un periodo continuado de algo más de 30 años, dejando de lado rotación con otros cultivos. El diseño considerado el desarrollo del trabajo experimental fue el descriptivo, enfatizando la situación real con respecto a la pérdida de los atributos químicos y biológicos de los suelos a causa del uso continuado del cultivo de la “papa”, el tipo de investigación fue no experimental porque dos variables estudiadas no fueron manipuladas de manera alguna. Los resultados logrados mediante el análisis físico químico e hidrodinámico de las doce indicaron zonas referenciales afectados por la merma en la fertilidad química y biológica del suelo por efecto del monocultivo de manera intensiva; encontró diferencias con respecto a cada muestra, encontrándose un en un terreno ácido un pH promedio de 5,44 con una CE de 0,093 dS.m⁻¹ a 25 °C; CIC promedio de 12,46 cmol (+).kg⁻¹; una CC equivalente a 23,26 % y un PMP de 12,55 %. Concluyó que existió una degradación de la fertilidad química y biológica de los suelos porque los valores de los análisis físico, químico e hidrodinámico, mostraron valores diferentes con relación a los óptimos considerados para el N, P, K y CE., debido a que en el centro poblado Potreropampa fue mínima la rotación de los cultivos con la reducción de la productividad del suelo debido a la erosión. El cultivo intensivo de la “papa” en la zona de Potreropampa, fue evidenciado por un CE baja que estuvo relacionada con la carencia de sales de origen orgánico e inorgánico en el suelo. Finalmente, fue propuesto un programa para la recuperación de suelos degradados de Potreropampa.

Regionales

Silva (2020) investigó la “Capacidad de retención del agua disponible en suelos agrícolas de acuerdo con la textura y el contenido de materia orgánica, trayecto Huaura-Mazo” (p. 1). El objetivo del trabajo de investigación fue determinar los niveles del agua disponible de los suelos en relación con las principales características edáficas. El desarrollo de la fue una investigación no experimental, y consideró la influencia de la clase textural, la presencia de la materia orgánica así como el pH, la salinidad, carbonatos de calcio, y el fósforo y potasio disponibles, sobre el almacenaje del agua útil para las plantas denominado como agua disponible (AD). La metodología consideró la caracterización de ocho puntos de muestreo en donde fueron evaluados los perfiles correspondientes a profundidades de 0-20 de 20-40 cm. Los resultados obtenidos permitió agrupar a los suelos en: (1) Suelos con incipiente desarrollo (azonales) con perfiles de tipo A/C y con lutitas como material madre constituido por lutitas, que se caracterizaron por ser de uso agrícola con limitaciones originadas por una escasa profundidad, textura pesada y una excesiva retención de agua y un drenaje deficiente a causa de presentar una capa subterránea compactada, correspondiendo la clase A3swf y (2) Suelos caracterizados por tener un perfil A/C debido a ser muy superficiales, con predominio de material arenosos, sin exceso de humedad y sin compactación alguna. Además, tienen una reacción moderadamente básica y exentos de problemas de sales, con contenidos bajos de carbonatos y de materia orgánica, pobres a medios en P disponible y de medios a altos en potasio disponible, por lo consiguiente de baja fertilidad. Concluyó que el porcentaje de arcilla y el contenido bajo de materia orgánica fueron los factores más influyentes en el contenido de humedad. Asimismo, Silva (2020, p. 87) agrega:

Que tanto la capacidad de campo así como el punto de marchitez permanente, fueron mayores en los suelos de textura arcillosa y valores significativamente bajos en los suelos de textura arenosa, factores que influyeron claramente sobre los porcentajes de agua disponible para las plantas, cuyos contenidos fueron variables desde 10,89 hasta 12,41 % en los suelos de textura fina y de 8,38 a 9,02 % en los suelos de textura gruesa.

La Rosa (2018) hizo una investigación sobre los “Cambios de las propiedades físico-químicas del suelo en las laderas del cerro Concacucho post forestación”, con el objetivo de estimar el impacto de la forestación en las propiedades físico-químicas de suelos áridos de las laderas del cerro Concacucho, Lima. El tipo de investigación fue cuasi experimental,

diseño que fue considerado apropiado para estudio. Asimismo, el alcance de la investigación fue únicamente descriptivo. La metodología consistió en el análisis de los parámetros del suelo para lo cual fue calculado el índice de calidad de suelo (ICS) en comparación con una zona control. El área de estudio forestada fue dividida en tres lotes y el tercero de ellos fue considerado como la zona control, área donde no hubo intervención. Cada lote fue subdividido en cinco zonas representativas donde fueron abiertas las calicatas para la toma de muestras de suelos. Evaluó las variables como el pH, el contenido de materia orgánica (MO), la conductividad eléctrica (CE), la disponibilidad del potasio (K) y el fósforo (P), las bases cambiabiles (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+}), el carbono orgánico (CO) y la densidad aparente (Da). Para análisis de datos fue utilizada la prueba de U de Mann Whitney. Los resultados mostraron el proceso de forestación impacto notoriamente en las propiedades fisicoquímicas del suelo en las laderas del cerro Concacucho y los lotes 1 y 2 mostraron tener mejoras al ser comparado con los valores del lote control. Además, ambos lotes presentaron un incremento en la salinidad (CE) en comparación con el lote control, incremento que fue producido por el manejo deficiente del recurso hídrico y por los factores climáticos. El contenido de “MO fue bajo en todos los lotes”, característica “de los suelos de “las “zonas áridas” (p. 56). “Por otro lado, a excepción del indicador conductividad eléctrica (CE), todos los demás indicadores presentaron mejores resultados que el lote control” (p. 56). Finalmente concluyó que debe establecerse plantaciones con especies de alta tolerancia y resistencia a la salinidad del suelo. Asimismo, para lograr la recuperación y mejora de los suelos debe realizarse primero un lavado de los suelos previo al trabajo de subsolación, para así mejorar las condiciones de drenaje.

Ventocilla (2015) desarrolló una de investigación sobre la “Clasificación de la fertilidad de los suelos del predio “Fundo Nuevo” por el método de capacidad-fertilidad en Végueta-Huaura”, con objetivo de clasificar los suelos del “Fundo Nuevo” ubicado en la localidad de Medio Mundo, distrito de Végueta, Huaura, Perú. La metodología considerada en la investigación fue propuesta por Sánchez *et al.* (2003), la misma que consistió en la evaluación de la textura de la capa arable y de la capa subyacente agrupadas dentro del tipo de suelo, así como el riesgo de anegamiento, periodo de sequías, regímenes de humedad y de temperatura, porcentaje de material gravoso, tipo de pendiente, riesgo de erosión y profundidad efectiva, parámetros considerados como modificadores de las propiedades físicas del suelo. También fueron evaluados la reacción del suelo, presencia de arcillas,

toxicidad del aluminio, limitaciones químicas, carbonatos, salinidad y alcalinidad, modificadores químicos de las propiedades del suelo. Asimismo, fue tomada en cuenta la evaluación de las reservas de elementos nutritivos, la fijación del fósforo, presencia de arcillas expandibles, potencial de lavaje (lixiviación) y minerales intemperizables, los mismos que estuvieron considerados como los modificadores de las propiedades mineralógicas del suelo. También fueron evaluados los niveles de saturación de carbono orgánico como único modificador de las propiedades biológicas de los suelos en estudio. Después de la caracterización de los suelos en estudio, los resultados obtenidos mostraron que los suelos fueron de escasa profundidad efectiva consideradas de muy superficiales a superficiales y a la vez gravosos, con baja capacidad agrológica y con niveles de pH moderadamente básicos. Asimismo, dentro las clases texturales fueron encontrados suelos arenosos y arena francas con un alto predominio de la arena con respecto a la arcilla y el limo, los contenidos de materia orgánica fueron encontrados en niveles muy bajos, el fósforo disponible también estuvo en niveles bajos a medios, con contenidos medios de potasio disponible, con baja capacidad de intercambio catiónico, con riesgo moderado de erosión laminar y sin problema alguno de salinidad cuyos valores fueron muy bajos, con riesgos de lavaje o lixiviación. Concluyó que los suelos estudiados fueron de escaso desarrollo (muy jóvenes) caracterizados por poseer perfiles del tipo A/C, conocidos taxonómicamente como Aridisoles y A3sf por capacidad de uso mayor. Los niveles de la fertilidad-capacidad encontrados mediante el estudio fueron de muy baja a baja debido a las severas limitaciones causadas por la presencia de carbonatos de calcio que aumentan la posibilidad de fijación del fósforo, los niveles de salinidad mostraron una tendencia a elevarse y la escasa profundidad efectiva de suelos, así como también, el escaso contenido de materia orgánica, la textura gruesa predominante y la baja fertilidad natural, no permitirán el desarrollo normal de cualquier cultivo, muy especialmente aquellos que son muy sensibles a las propiedades señaladas.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. El suelo

Según Corcuera (2016) el suelo es un recurso natural que está formado por la mezcla de diferentes minerales, materia orgánica en proceso de descomposición y agua, componentes que le dan la capacidad de sostener la vida de las especies vegetales. Sin embargo, la capa

de suelo que se ubica en la parte superficial es bastante delgada, pero aun así permite el crecimiento y desarrollo de las plantas, mantiene la humedad suficiente regulando su disponibilidad y actúa como un filtro y conductor del agua procedente de las precipitaciones, trasladándolo hacia los acuíferos subterráneos. Además, es responsable del reciclaje de la materia prima y de los nutrientes requeridos por las plantas, actuando como un medio para la propagación de microorganismos, tales como hongos y bacterias (Corcuera, 2016). El suelo es un compuesto tridimensional porque está formado por tres fases: (a) La fase sólida que está compuesta por materiales inorgánicos en un 95 % y por componentes orgánicos en un 5 %, aproximadamente, estos componentes originan los espacios donde se localiza el aire, (b) La fase gaseosa cuyo contenido difiere del aire y que es considerada como la atmósfera del suelo; y (c) La fase líquida que es la responsable de la retención del agua (Hernández, 2011; Corcuera, 2016).

Según Lichtinger *et al.* (2000), citado por Hernández *et al.* (2010, p. 12), el suelo representa para una nación el recurso natural de mayor importancia porque de acuerdo a las condiciones que tiene, dependen el buen estado del entorno natural para el desarrollo de la vida mediante las diversas actividades agrícolas, ganaderas y forestales e incluso las actividades urbanas. El deterioro y escasa atención que se le da al suelo, exige la implementación de regulaciones para el uso, manejo y conservación, debido a que actualmente se está incrementando importantes cambios adversos de orden social, económico y ecológico, que son muy difíciles de cuantificar y valorar de manera exacta.

Según Porta *et al.* (2003), para el estudio de los suelos en forma completa es necesario hacer un corte transversal en el terreno desde la parte superior y superficial la hasta llegar a la zona menos alterada conocida como material parental, a este corte se le denomina perfil del suelo en el cual se puede distinguir de manera clara a los horizontes del suelo, que son capas más o menos paralelas y superpuestas. Cada horizonte tiene características y propiedades muy diferenciadas dentro del mismo perfil, permitiendo la identificación, descripción y toma de muestras individuales, acciones que son de suma importancia para los estudios de suelos que representan un recurso que cumple con varias funciones estrechamente relacionadas con la ecología y otros aspectos relacionados con las actividades técnicas, industriales,

socioeconómicas y culturales, las mismas que le permite cumplir con las siguientes funciones:

- ✓ **Con respecto a la producción:** Es responsable del suministro de los elementos nutritivos, el aire y el agua que requieren los vegetales.
- ✓ **Con respecto a la hidrología:** Evita la presencia de una excesiva de humedad, porque tiene la capacidad de regular el contenido y el movimiento superficial y subsuperficial del agua.
- ✓ **En relación con el medioambiente:** Cumple con la función de seleccionar, descomponer, disminuir, retener y amenguar el efecto tóxico de componentes de naturaleza orgánica como inorgánica, evitando efectos negativos.
- ✓ **Con respecto al aspecto biológico:** Es el lugar donde habitan muchos seres que conforman la fauna y la flora del suelo.
- ✓ **En relación con la biogeoquímica:** Permite retener y regular los ciclos biogeoquímicos de los diversos elementos nutritivos que son esenciales para las plantas.

Según García *et al.* (2012), el suelo está considerado como un recurso natural imprescindible para el desarrollo normal de la vida de las especies vegetales, animales y para la humanidad en el planeta. Sin embargo, aún no se ha tomado en cuenta las diversas funciones que desempeña, por cuya razón se mantiene el criterio de que un suelo solo significa el resultado de sus propiedades químicas, considerándose solamente los niveles de disponibilidad de los principales elementos nutritivos primarios (nitrógeno, fósforo y potasio). Recientemente se están agregando nuevos conceptos sobre este tema, ya que se está integrando la importancia de las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como también el concepto de sostenibilidad y de capacidad para brindar productos sanos para la alimentación y para disminuir la creciente contaminación ambiental. García *et al.* (2012) agregan que el suelo es un material bien estructurado, muy heterogéneo y que presenta discontinuidades, imprescindible y consecuentemente irremplazable, originado de una mezcla de material orgánico, diversos minerales y de elementos nutritivos que tienen la capacidad de sostener la vida de los diversos organismos y microorganismos. La formación del suelo consiste en un complejo proceso originado por cambios físicos, químicos y biológicos del material parental (roca). Los procesos físicos causan la disminución del tamaño de las partículas sin ocasionar alteración alguna y son el resultado la acción del hielo, deshielo, las lluvias y otros

fenómenos atmosféricos. Los procesos químicos se originan mediante división los compuestos minerales que son parte del material rocoso: La descomposición y la pérdida del material sólido, se producen debido a las reacciones del H₂O, el O₂, el CO₂ y los componentes de naturaleza orgánica (Budhu, 2007).

Para Gisbert (2010) el suelo es el hábitat natural que permite el crecimiento y desarrollo de las plantas que, mediante su sistema radicular, obtienen los elementos químicos que se encuentran en los minerales y el nitrógeno que es proporcionado por la materia orgánica en descomposición. El suelo es un complejo natural que consiste en una mezcla de compuestos minerales diversos conjuntamente con la materia orgánica. El suelo es una delgada capa que se encuentra en la superficie de la litósfera y su función es sostener el crecimiento vegetal. Asimismo, el suelo es considerado como un cuerpo natural independiente que se ha originado por la alteración de las rocas por la acción del clima y los seres vivos que habitan dentro de él, tiene una morfología especial que es formada en un periodo dado de tiempo. Otro concepto considera que el suelo es consecuencia del proceso de la erosión de las rocas, que está ocurriendo en las partes externas de la corteza terrestre, conformado por restos del material.

Ortiz *et al.* (2008) sostienen que desde el punto de vista edafológico, el suelo es considerado como un cuerpo natural tridimensional porque tiene las tres dimensiones fundamentales (largo, ancho y altura) y que está formado por procesos físicos y químicos que actúan sobre el material original que es llamado roca madre o material parental, proceso que está ocurriendo en un periodo largo de tiempo, influenciado por las condiciones climáticas y topográficas, bajo el efecto de la actividad de un sinnúmero de organismos vivos que están causando un continuo intercambio de materia y energía. Estas condiciones lo convierten en una pieza importante en el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos y en el desempeño como un rol o papel como filtro de los efectos de la contaminación producida, al incorporarse al suelo los compuestos orgánicos e inorgánicos en exceso e impidiendo que éstos se mezclen con las aguas subterráneas y el aire, evitando así que se integren a la cadena alimenticia. López y Estrada (2015) consideran que los suelos son el producto final originado por la ocurrencia de una serie de fenómenos que ocurrieron en la naturaleza que han dado lugar a

su variabilidad, composición y recuperación en función al periodo de tiempo que se requiere para la descomposición de las rocas.

La excesiva exigencia que se tiene sobre los suelos por parte de la humanidad en el afán de satisfacer las necesidades de alimento, es la causa del uso intensivo, que unido a las deficientes prácticas de uso y manejo, tales como la labranza intensiva, el monocultivo, la aplicación descontrolada de pesticidas, entre otros, están causando el deterioro y la degradación del recurso edáfico, donde juega un papel determinante el precario entendimiento del hombre sobre la importancia del suelo y de sus propiedades. Consecuentemente, es de urgente necesidad el conocimiento de las principales propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, para entender la importancia de los valores que ofrecen los suelos agrícolas en el manejo de las propiedades para conservar su calidad productiva, evitando de esta forma el incremento de la degradación de este importante recurso natural.

1.2.2. Propiedades del suelo

El suelo es definido como un compuesto en constantes cambios que está conformados por las fases sólida, líquida y gaseosa, en donde se produce la interacción de sus propiedades (físicas, químicas y biológicas) para brindar las condiciones necesarias para el normal desarrollo de las plantas y del entorno que las rodea (López y Estrada, 2015). Aunque las características del suelo son estudiadas de manera separada, estas mantienen una relación estrecha. Se puede citar que las posibilidades de fijación y la introducción del sistema radicular que requieren las plantas está en función de los suelos, estrechamente relacionadas con la porosidad que depende de otras características como la facilidad del movimiento del agua (drenaje) y del aire. Entonces, la pérdida de alguna propiedad en los suelos afectará a las demás y conllevará a la pérdida de la calidad productiva afectando seriamente al desarrollo normal de las plantas cultivadas. “Dada la importancia del suelo, en este afán se definen y describen las principales propiedades físicas, químicas y biológicas”, resaltando la “importancia y los valores típicos que se presentan en los suelos agrícolas” (p. 3). Por lo tanto, es de necesidad hacer una reflexión de lo que significa un manejo adecuado de las características edáficas en el manejo de los suelos con el fin de atenuar su alteración y deterioro.

a. Propiedades físicas del suelo

Según Porta *et al.* (2003), las propiedades físicas de un suelo están estrechamente relacionadas con habilidad que tiene el hombre para darle muchos tipos de uso. Las condiciones del movimiento y acumulación del recurso hídrico, así como las posibilidades de penetración de la raíz, la oxigenación y el mantenimiento de los elementos nutritivos requeridos por los organismos vegetales, tienen aún relación significativa con las características físicas que disponen los suelos. López y Estrada (2015) añaden que las propiedades físicas del suelo pueden ser observadas y/o ser medidas sin producir una alteración química en la composición del suelo y están en estrecha relación con el movimiento del aire, el calor, el agua, las raíces y los nutrientes; en relación directa con la profundidad, la textura, la estructura, la densidad aparente, la densidad real, la porosidad, el color y la temperatura que tiene el suelo en un momento dado.

Textura

González (2019) explica que la textura es la combinación y distribución de las partículas elementales que tienen diferentes tamaños y están conformando a los suelos. Teniéndose en cuenta el tamaño, la porosidad o absorción del agua en la partícula del suelo o sustrato, las fracciones texturales se clasifican en tres grupos básicos: arena, limo y arcilla. Asimismo, con el auxilio del triángulo textural es posible conocer de manera exacta el tipo de suelo a tratar. Por esa razón, la textura del suelo es considerada como una propiedad física que tiene importancia económica sobre las labores que se realizan en el campo, debido a que influye significativamente sobre el comportamiento del suelo en relación con la capacidad de retención de agua (CRA) y en la disponibilidad de los nutrientes, así como también sobre la permeabilidad en situaciones de encharcamiento y riesgo de lixiviación o lavado producida por el exceso de agua, lo cual afecta su capacidad para descomponer la materia orgánica, afectando notoriamente a la forma de cómo se deben manejar los diversos tipos de riego.

Huerta (2010) agrega que la textura está relacionada con la distribución porcentual de las partículas individuales del suelo denominadas arenas, limos y arcillas y que para un mejor conocimiento están agrupadas de la siguiente manera: a) Arenas, de 0,05 a 2 mm de diámetro, b) Limos, de 0,002 a 0,05 mm de diámetro, y c) Arcillas, con < 0,002 mm de

diámetro (Tabla 1). Cuando en los suelos predominan los componentes de mayor tamaño (arenas) es considerado como un suelo texturalmente ligero o grueso, si tiene mayor proporción de material fino (arcillas) se le denomina texturalmente como suelo fino. Los suelos son texturalmente ideales cuando tienen un contenido aproximado de las fracciones arena (40 %), limo (40 %) y arcilla (20 %); es estas condiciones se les denominan suelos francos.

Tabla 1

Algunas propiedades de los diferentes tamaños de partículas del suelo

| Tamaño de partículas* | Arena (2 – 0,05 mm) | Limo (0,05 a 0,02 mm) | Arcilla (< 0,002 mm) |
|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Propiedad del suelo | | | |
| Aireación | Excelente | Buena | Pobre |
| Erosión eólica | Media | Alta | Baja |
| Erosión hídrica | Baja | Alta | Baja** Alta*** |
| Permeabilidad | Alta | Media | Baja |
| Temperatura | Alta | Media | Baja |
| Laboreo | Fácil | Medio | Difícil |
| Retención de agua | Baja | Media | Alta |
| Área de superficie | Bajo | Medio | Alto |
| Nutrientes | Pobre | Medio | Alto |
| Compactación | Baja | Media | Baja |
| Escorrentía | Baja | Media | Baja |

Fuente: Brady y Weil (2008).

*Según la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2008)

**Con agregación

***Sin agregación

Estructura

La unión en diferentes proporciones de la arena, el limo y la arcilla como resultado de la agregación de estos componentes texturales (terrones), determina la estructura del suelo (León, 2000). La estructura tiene un efecto directo sobre la circulación del aire, la distribución del agua, el desarrollo de las raíces y los procesos erosivos que se producen en los suelos. Los terrones formados adoptan diversas formas que son conocidas como estructura granular, en bloques angulares y subangulares y prismáticas, con diferentes grados de estabilización y con tamaños muy variables (USDA 2008). Plaster (2005, p. 42) define a la estructura como el agrupamiento de los elementos texturales del suelo para formar

agregados de mayor dimensión tamaño. Estas unidades mayores que se forman de manera natural son lo que se conoce como agregados del suelo, los agregados que resultan del proceso de los cultivos son llamados terrones. Las clases estructurales son diversas y esta diferenciación actúa positivamente en la mejora de la permeabilidad. Según Plaster (2005), edafológicamente existen tres grupos característicos de la estructura:

- ✓ El tipo de estructura está determinada por la forma que adoptan al unirse las partículas texturales del suelo y pueden dar origen a estructuras que pueden ser granular, laminar, bloques angulares, bloques subangulares, prismática y columnar.
- ✓ La clase estructura se refiere a los diferentes tamaños que adoptan al producirse la agregación. Las clases de estructura puede ser fina, muy fina, media, gruesa y muy gruesa.
- ✓ La relación entre la estabilidad y resistencia de los agregados del suelo es conocida como el grado de la estructura y ésta puede ser descrita como como estructura de grano simple y estructura masiva. La estructura de grano raramente puede ser observadas en suelos húmedos y los agregados son fuentes cuando son muy visibles y pueden ser manipulados fácilmente sin romperse o alterarse.

Por otro lado, Jordán (2010) agrega que las partículas que tienen un origen orgánico, así como mineral que son componentes que no están separados en el suelo y que al unirse estas fracciones dan origen a los agregados estructurales que son conocidos como el coloide del suelo. La condición de que estos componentes al asociarse no están formando un material continuo e endurecido permite que dejen espacios libres conocidos como poros, los mismos que están intercomunicados haciendo posible el desarrollo de la vida en el medio edáfico. Estos espacios libres dan origen a poros, canales, cámaras y fisuras, en cuyos lugares se produce el movimiento de gases y de líquidos dentro del suelo, ofreciendo un medio adecuado para la vida de los diversos microorganismos, originando del mismo modo, las condiciones requeridas para el normal crecimiento de los sistemas radiculares de las plantas. Porta *et al.* (2003) agregan que la estructura juega un rol muy importante en el ordenamiento de los gránulos individuales del suelo, también llamados agregados. Que tienen espacios libres como resultado de su asociación, en concordancia con las reacciones fisicoquímicas entre las arcillas y la materia orgánica.

Densidad del suelo

La relación entre el peso sobre el volumen de un suelo determina la densidad aparente, la misma que tiene una estrecha relación con el espacio poroso. Se conocen 2 clases de densidad: La densidad aparente que es la relación entre la masa del suelo expresado en términos de peso y el volumen total de dicho suelo, la otra es la densidad real total que es la relación de la misma masa del suelo sobre el volumen de los sólidos, sin incluir el espacio poroso. Las dos densidades son expresadas en unidades mediante la siguiente relación: g.cm^{-3} , según lo reportado por Flores y Alcalá (2010). La estructura es importante porque permite conocer el nivel de la compactación, la porosidad total, la micro y macro porosidad, la humedad a saturación y el peso de una hectárea de suelo; que en muchos casos son parámetros limitantes para el crecimiento de las plantas y que, a la vez, están influenciados por el tipo de textura del suelo.

La determinación de la densidad aparente o de volumen es calculada mediante la relación siguiente:

$$D_a = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volumen total del suelo}}, \text{ se expresa en } \text{g.cm}^{-3} \text{ o en } \text{t.m}^{-3}$$

La relación entre el peso del material sólido por su volumen permite conocer la densidad real o de partícula de un suelo de (Osman, 2013), en otras palabras, esta densidad se calcula dejando de lado el espacio poroso del suelo. Esta propiedad del suelo tiene la cualidad de ser un buen indicador del tipo de minerales que están en el suelo, así como del contenido de material orgánico presente en el suelo. Por lo tanto, cuando un suelo contiene niveles altos de materia orgánica los valores de la densidad real serán bajas, con una estrecha relación con la abundancia del mineral predominante. La densidad real o de partícula varía en relación con el tipo de minerales del material madre y la cantidad de materia orgánica del suelo. La mayoría de los suelos tienen un promedio de densidad real de $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$, valor que se usa como la densidad promedio para realizar diferentes cálculos en el suelo. En resumen, suelos con altos porcentajes de materia orgánica, tienden a disminuir los valores de la densidad de partícula debido a que el material orgánico es mucho más ligero que los componentes minerales.

La determinación de la densidad de partícula o real se hace en base a la siguiente relación:

$$D_p = \frac{\text{Peso del suelo seco}}{\text{Volumen de los sólidos del suelo}}, \text{ se expresa en g.cm}^{-3} \text{ o en t.m}^{-3}$$

Color del suelo

Mediante el color del suelo es posible deducir otras características. Esta propiedad depende de los elementos que contiene el suelo y puede variar en función al porcentaje de agua, niveles de MO y la actividad redox de los componentes químicos que tiene el suelo. La diferenciación de los horizontes se hace teniendo en cuenta la coloración que presentan, así como también para conocer el origen de la materia parental, la presencia de materia orgánica y sus niveles de descomposición, el estado del drenaje y la presencia de sales y carbonatos. Jaramillo (2002) explica que el color del suelo puede ser determinado al comparar el color de un terrón de éste con el catálogo de colores conocida comúnmente como la Tabla de colores Munsell que se usa a nivel mundial y de amplia aceptación por su fácil manejo en el campo y en el laboratorio. Como es de conocimiento general, la Tabla Munsell representa un catálogo en donde están agrupados en varias combinaciones de colores que permiten calificar el color del suelo. Plaster (2005) agrega que el color del suelo significa un parámetro sumamente útil para el uso eficiente del suelo, pero esto es posible solo dentro de una zona o región, las comparaciones entre zonas o regiones con diferentes climas o mineralogía, no son confiables. La determinación visual se logra por medio de la Tabla de colores Munsell comparando el color de la muestra de un suelo dado con los colores estándar de la tabla. Al respecto, Jordán (2010, p. 96) considera que la determinación del color se hace en base a tres parámetros:

- ✓ **La matriz:** (Hue) que indica la relativa posición del color en base a un grupo de un centenar es de diferentes colores Esta característica se sustenta en diez clases de colores que son:: Rojo (5R), rojo amarillento (5YR), amarillo (5Y), amarillo verdoso (5GY), verde (5G), verde azulado (5BG), azul (5B), púrpura (5P) y púrpura rojiza (5RP).
- ✓ **El brillo:** (Value) que sea la claridad o la oscuridad de un determinado en relación a una escala neutra compuesta por colores de grisáceas y están representadas desde el color negro (0/) hasta el blanco absoluto (10/).
- ✓ **La intensidad:** (Chroma) que indica la distancia de la matriz de un color determinado en relación con el un gris neutro (5/) pro que tiene el mismo brillo. En este caso, la escala va desde /10, /12, /14 o más, en relación con el tipo de la muestra evaluada.

Estabilidad estructural

Para Pulido *et al.* (2009) la evaluación de un suelo depende de diversas propiedades o características que son conocidas mediante diferentes metodologías que deben ser reconocidas previamente y una de estas características es la materia orgánica del suelo. El material orgánico ayuda a mantener la unión de los agregados contra de la acción de los agentes que producen la destrucción como es el caso del exceso de agua y el efecto de las lluvias. Teniéndose en cuenta que para formarse la estructura se requiere de un conjunto de reacciones que ocurren en el suelo y con el fin de darle resistencia para atenuar la acción de los factores que puedan alterarla, es la estabilidad estructural del suelo una propiedad que determina en mayor proporción, la forma como debe manejarse y usarse intensivamente al suelo. Es en este sentido, la necesidad de entender que la estabilidad estructural significa una de las propiedades que mayormente debe tenerse en cuenta porque representa la resistencia al deterioro y a la erosión del suelo. (Jordán, 2010) agrega que la estructura del suelo es una propiedad inestable y puede cambiar por acción de los cambios climatológicos, el tipo de uso de la tierra y de acuerdo a los procesos edáficos. Generalmente, el origen de los procesos degradativos es la pérdida de la estructura del suelo que está determinada por los siguientes factores:

- ✓ Presencia de arcillas expandibles durante los períodos de alta humedad.
- ✓ Lluvias violentas que produce la dilución temporal de los compuestos químicos con carga positiva determinan la sedimentación coloidal en el suelo.
- ✓ Disminución excesiva en el contenido del material orgánico.
- ✓ Incremento de la acidez y lavaje del catión calcio, porque producen la destrucción de los agregados del suelo

Porosidad

La porosidad está determinada por la acción de la textura conjuntamente con la estructura del suelo, para formar un sistema de espacios libres conocidos como poros. Los poros en el suelo pueden ser macroscópicos y microscópicos, donde tanto el agua, así como los nutrientes, el aire y los diversos gases pueden circular o retenerse. Los macroporos son de mayor tamaño que generalmente están saturados de aire, aunque es fácilmente atravesada por el agua en función a las fuerzas gravitacionales. Los poros pequeños al contrario son saturados de agua en mayor proporción por acción de la capilaridad. Los suelos gruesos con

mayor contenido de arena tienen un mayor porcentaje de poros grandes (macroporos) que permiten una rápida circulación porque menor fuerza para retener al agua, en cambio, los suelos finos (arcillosos) tienen una mayor proporción de microporos y pueden manifestar una escasa aireación, aunque son deficientes para retener agua. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2016) explica que el espacio poroso del suelo representa a la proporción del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En consecuencia, el espacio poroso total significa una forma de medir el volumen del suelo que está ocupada por el agua y el aire. Este valor generalmente se expresa en porcentaje y es conocida como porosidad, es así, que un suelo como una porosidad del 50 %, tendrá la mitad constituido por partículas sólidas y la otra mitad representará el espacio poroso o libre (Plaster, 2005). El porcentaje de porosidad es calculado mediante la siguiente relación:

$$\text{Porosidad} = \left(1 - \frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}}\right) 100$$

Temperatura del suelo

La temperatura del suelo es una propiedad esencial en la práctica de la agricultura, especialmente en la etapa de la germinación de las diversas especies que son muy sensibles a los cambios bruscos de la temperatura del suelo porque cada cultivo tiene un rango óptimo de temperatura para su geminación. La expansión de las raíces, también depende de la temperatura del suelo, es así que los cultivos de época caliente como es el caso del “tomate” *Solanum lycopersicum* L. y el “maíz” *Zea mays* L., crecen mejor a temperaturas del suelo relativamente altas, mientras que los guisantes en general y otros vegetales de estación fría desarrollan satisfactoriamente a temperaturas más bajas. La luz solar que es retenida en el suelo calienta a los compuestos químicos y al agua que están en el suelo. Se requiere quintuplicar la fuerza energética para elevar la temperatura de un volumen igual de partículas minerales. Como consecuencia, se requiere de una mayor cantidad de energía solar elevar la temperatura de un suelo seco. Menor contenido de agua tiene un suelo arenoso, por lo tanto, se calentarán con mayor rapidez en las estaciones calientes y permanecen con mayor temperatura en verano (Plaster, 2005). Jordán (2010) agrega que el sol es la principal fuente del calor que almacena el suelo. Medianamente, en un clima templado se estima que el suelo recibe $144 \text{ calorías} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$, pero esta cantidad variará con respecto a la ubicación

geográfica, los cambios estacionales, la presencia de las nubes, la orientación del terreno y el tipo y cantidad de especies vegetales que cubren a la superficie.

b. Propiedades químicas

Una propiedad química que puede ser observada y medirse es los resultados de las reacciones químicas que se producen dentro de los suelos que permiten conocer el efecto de los iones químicos y de los compuestos que son parte integrante de los suelos (Tamhane *et al.* 1986, citado por López y Estrada, 2015, p. 7). Dentro las principales propiedades del suelo están consideradas la reacción del suelo (pH), la adsorción de cationes (CIC), la salinidad (CE), el componente orgánico (MO) y el contenido de elementos nutritivos y tóxicos.

pH

Plaster (2005) explica que el grado de acidez y de basicidad de un suelo también conocida como la reacción del suelo expresada en términos de rangos de pH, esta propiedad causa reacciones muy significativas que afectan significativamente al normal desarrollo de las plantas. El pH es medido con la ayuda de una escala varía desde 0 a 14 en las sustancias puras. Asimismo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2020) agrega que el pH determina el grado de adsorción de iones (H^+) por los coloides arcillo húmicos del suelo, indicando que éste puede ser ácido o alcalino. También es el indicador más importante de la disponibilidad de nutrientes que sirven de alimento para las plantas. Por lo tanto, tiene marcada influencia sobre la disolución, traslado y absorción de los elementos nutritivos y de otros constituyentes y contaminantes minerales que están en el suelo. Su presencia en los suelos agrícolas es variable desde una acidez marcada (pH 3,5) hasta condiciones muy básicas (pH 9,5). Los suelos con pH <5,5, tienen cantidades altas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos con pH superior a 8,5 producen la dispersión de los agregados. Asimismo, se restringe significativamente la acción de los microorganismos y de la fauna y flora del suelo cuando en pH adquiere valores que varían de 6,5 a 7,3. Al respecto del pH, Jordán (2010, p. 139) agrega que el rango del pH sirve para indicar el grado de acidez o basicidad que tiene el suelo, este concepto es el más usado e indica que el suelo es un sistema que depende de varios subsistemas, los mismos que interaccionan independientemente de una valor de acidez. Sin embargo, se debe tener en cuenta el pH afecta a varias características físicas,

químicas y biológicas del recurso suelo. Dentro las propiedades físicas que sufren el efecto del pH se tiene a la dispersión/floculación de coloides, los tipos de estructura, el porcentaje de porosidad, el movimiento del agua y los regímenes de humedad y temperatura. En cuanto a las características químicas afectadas por el pH, están consideradas la meteorización de tipo químico, el desplazamiento del aluminio, manganeso y metales pesados (que son tóxicos), la disponibilidad de elementos nutritivos como el calcio, magnesio o fósforo, la descomposición del material orgánico y la mineralización del nitrógeno, la adsorción de fosfatos, sulfatos y cloruros y la alteración mineralógica minerales de las arcillas. Dentro de las propiedades biológicas que sufren el efecto el pH están consideradas la relación bacteria/hongo, el proceso de la humificación, la fijación del nitrógeno mediante la simbiosis y el movimiento y la absorción de los elementos nutritivos que son esenciales para crecimiento y desarrollo de las plantas.

Es de importancia tener en cuenta los conceptos de la alcalinización o sodicidad del suelo y que la FAO (2020) la define como el exceso de Na^+ en el suelo. A medida que la concentración del Na^+ aumenta en el suelo empieza a reemplazar a otros cationes, dando origen a la formación de los suelos alcalinos (sódicos). Aquellos con marcada sodicidad (alta acumulación de Na^+ se forman en las zonas desérticas y semidesérticas, que tienen una alta inestabilidad por tener propiedades físico-químicas muy pobres debido a la alta concentración del sodio, con pérdida de la permeabilidad que dificulta los procesos de movimiento del agua, con un efecto negativo sobre el normal desarrollo de las especies vegetales.

Capacidad de intercambio catiónico

Porta *et al.* (2003) explican que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un determinado tipo de suelo muestra el número de moles de iones de carga positiva (cationes) que están adsorbidos, y pueden ser liberados de la superficie del coloide del suelo hacia el medio circundante o la solución del suelo, desde donde la planta aprovecha dichos elementos para su nutrición. Asimismo, Dorronsoro (2002) considera que en el diagnóstico de la fertilidad potencial y en la clasificación taxonómica de suelo, es de vital importancia evaluar las propiedades como clase textural, la densidad aparente, el contenido de la materia orgánica, retención y la humedad contenida en el suelo, así como, los valores de la CIC y de

los cationes cambiabiles (CC). La CIC se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo, $\text{cmol}(+).\text{kg}^{-1}$ o bien $\text{cmol}.\text{kg}^{-1}$ (Tabla 2). Anteriormente se utilizaba la unidad $\text{meq}/100\text{ g}$, el cual aún se usa (Tabla 2). El valor numérico es el mismo con ambas unidades, tal como expresa (Porta *et al.*, 2003).

Tabla 2

Rangos interpretativos para la CIC

| CLASE | CIC $\text{cmol}(+).\text{kg}^{-1}$ o $\text{meq}/100\text{g}$ |
|----------|---|
| Muy alto | $\text{CIC} \geq 40$ |
| Alto | $25 \leq \text{CIC} < 40$ |
| Medio | $15 \leq \text{CIC} < 25$ |
| Bajo | $5 \leq \text{CIC} < 15$ |
| Muy bajo | $\text{CIC} < 5$ |

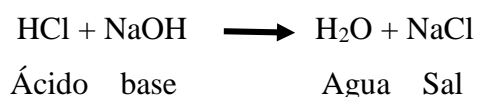
Fuente: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA] (2012).

Conductividad eléctrica

Los suelos tienen distinta conductividad eléctrica, generalmente como consecuencia de la irrigación hídrica en función a la cantidad de sales que presenten. Como consecuencia, los suelos que tienen un mayor contenido de sales tendrán mayor capacidad para ser mejores conductores eléctricos en comparación con los suelos menos salinos y esta afirmación está en relación estrecha con la cantidad de agua que recibe y la cantidad de sales que puede sufrir un lavado. La salinidad muestra la cantidad de cationes de Na^* , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , junto a los aniones Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- y CO_3^{2-} (Raffino, 2020). Según Plaster (2005) en las regiones lluviosas, la acidez se convierte en un serio problema para la producción agrícola, lo cual se produce por el lavado excesivo tanto del calcio, así como del magnesio y el sodio, los mismos que son lixiviados del suelo. Por el contrario, en las zonas secas conocidas como áridas no se produce lavado alguno y por lo tanto tienen serios problemas producidos por una alta acumulación de sales solubles formadas por las mismas bases que están en altas proporciones en el suelo.

Una sal soluble como su nombre lo indica, puede ser tan soluble más en el agua que en el yeso (sulfato de calcio), las sales solubles de mayor interés en los suelos agrícolas están formadas por los sulfatos (SO_4^{2-}), los bicarbonatos (HCO_3^-) y los cloruros (Cl^-) que

reaccionan con las bases presentes en los suelos (calcio, magnesio y sodio). Estas sales pueden tener su origen en los materiales originales o provenir del riego con agua salada o incluso de sales descongeladas. El efecto más resaltante de la salinidad del suelo se manifiesta por la gran dificultad que tienen las plantas para absorber el agua del suelo (Plaster, 2005). Las sales están definidas como sustancias químicas resultantes de la reacción de un ácido con una base, tal como la reacción del ácido clorhídrico con el hidróxido de sodio que al unirse forman la sal común de la siguiente manera:



Materia orgánica

Los restos de plantas y animales que se producen como parte del ciclo biológico y que adoptan la forma de desechos, al descomponerse dan origen a un importante mejorador del suelo: la materia orgánica. Este material pasa por diferentes etapas de descomposición dado origen a dos tipos de materiales, distinguiéndose claramente la fracción que fácilmente se descompone (lábil) y la fracción que permanece en forma estable (recalcitrante) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015b). Las porciones de fácil descomposición es el resultado de una rápida digestión de la materia orgánica por los organismos y permanece en los suelos por un periodo de corta duración. La fracción más resistente es conocida como el humus del suelo, sustancia más estable debido a que está formado por compuestos químicos muchos más complejas y de difícil descomposición y por esta razón permanece en el suelo por un tiempo mucho más prolongado. Algunas funciones de suma importancia que tiene el humus es la regulación de la reacción del suelo, la merma del lavado de los elementos nutritivos, el incremento de la capacidad de mantener la humedad, entre otros (Hazelton y Murphy, 2007). La presencia de la materia orgánica en el suelo se calcula multiplicando el porcentaje de CO (carbono orgánico) por el factor 1,724 (Vela *et al.*, 2012). El nivel de MO en suelos agrícolas por lo general tienen porcentajes menores a 2 %.

Gonzales *et al.* (2009) considera que el contenido de materia orgánica mejora la estructura del suelo y contribuye a disminuir su compactibilidad. La MO interviene en el proceso de

formación y de la estabilidad de agregados del suelo y como consecuencia incrementa el porcentaje de la porosidad total, merma los valores de la densidad aparente, aumenta el proceso biológico en el suelo y propicia una mayor capacidad retentiva de humedad. Además, mejora la consistencia del recurso suelo y prolonga el periodo de la humedad en el cual es posible trabajar sin dificultades en el suelo.

Nutrientes

Los nutrientes son sustancias químicas muy útiles para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Cuando estos nutrientes no están en cantidades suficientes en el suelo, imposibilitan el desarrollo normal de la planta, la que se vuelve vulnerable y propensa al ataque de las enfermedades o a sufrir ataques de los insectos (Hall, 2008). Las plantas durante su ciclo de vida requieren de los elementos minerales conocidos como nutrientes, entre estos elementos esenciales se encuentran el carbono (C), hidrógeno (H) y el oxígeno, elementos que son gaseosos son tomados del aire y del agua. Luego están los elementos minerales esenciales llamados elementos mayores: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), magnesio (Mg) y calcio (Ca) y los microelementos zinc (Zn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cloro (Cl), cobre (Cu), boro (B) y molibdeno (Mo). Los macronutrientes son requeridos por las plantas en cantidades mayores (decenas de kilogramos por hectárea) y los micronutrientes son requeridos en pequeñas cantidades (kilogramos por hectárea) (Salgado *et al.*, 2010).

Algunos de los elementos menores pueden convertirse en tóxicos cuando están presentes en el suelo en una alta concentración, como sucede en el caso del cobre que en la mayoría de los cultivos es requerido entre 4 a 6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, presentándose síntomas de toxicidad cuando sobrepasa los 20 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en especies que tiene una baja tolerancia a este microelemento (Parker, 2016). Otros elementos, como es el caso del aluminio, no son nutrientes esenciales para las plantas, pero puede ser tóxicos o promover que otros elementos como Ca y P, disminuyan su disponibilidad para la planta (Brady y Weil, 2002). Asimismo, aquellos elementos minerales que bloquean los efectos tóxicos o los que reemplazan a otros minerales en funciones específicas menores, como es el caso de la regulación de la presión osmótica, no son considerados esenciales: pero pueden ser considerados como elementos benéficos, entre estos se tiene al sodio (Na) y al silicio (Si) (Malavolta, 2006).

a. Propiedades biológicas

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], (2015a) la presencia de organismos en el suelo tiene una relación estrecha con los niveles del material orgánico y de los seres que habitan en el suelo, como es el caso de los sistemas radiculares de las plantas y la fauna natural del suelo (lombrices, insectos, nematodos, hongos, bacterias, etc.), los mismos que desempeñan actividades relacionados con el movimiento del agua y de los nutrientes, siendo muy importantes para descomponer la materia orgánica y el reciclaje de los elementos nutritivos requeridos por las plantas, en la formación del humus y en el almacenamiento del nitrógeno. La retención del N por acción de los microorganismos es un proceso enzimático que convierte al N atmosférico en forma de NH_4 . Este proceso solo se manifiesta en los microorganismos que no disponen de un núcleo celular (procariotas), especialmente del “grupo de las bacterias” (Paredes, 2013 p.12). Según Kumar y Rao (2012, p. 4) “los principales grupos de microorganismos fijadores de N son: *Frankia*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Azolla* y las cianobacterias”. De todas estas bacterias la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa es destacable por su contribución en la mayor fijación del nitrógeno atmosférico en el suelo, como resultado del reemplazo del C por N. (Martínez, 2001).

El movimiento de los elementos nutritivos y del carbono son influenciados por los microorganismos que habitan en el suelo. El material orgánico que se deposita sobre el suelo o que llega a inmediaciones de las raíces, será digerido inmediatamente por los microorganismos y otros seres que habitan en el sustrato originando un depósito de CO (carbono orgánico) que puede tener una permanencia relativamente corta por lo que debe reincorporarse entre uno a tres años. El humus que permanece en el suelo es un producto exclusivo de la actividad microbiana y tiene la característica de ser mucho más resistentes a la descomposición. Además, este material actúa como el cemento para permitir la unión de las partículas del suelo y dar origen a los agregados. Asimismo, el humus es un factor que produce el mejoramiento estructural como resultado de su desintegración, favorece la circulación tanto del agua como del aire, también favorece a la liberación de iones que son alimentos para las plantas, incrementando la capacidad de intercambio de cationes dentro del suelo, constituyéndose en un factor para la disminución de las pérdidas producidas por la lixiviación de los elementos nutritivos; asimismo, protege a algunos elementos nutritivos

evitando su fijación en las arcillas (Castellanos *et al.*, 2000). Gonzales *et al.* (2009) agrega que el contenido de materia orgánica mejora la estructura del suelo y contribuye a disminuir su compactibilidad.

La cantidad de desechos de plantas y animales que son adicionados y la velocidad con que se mineralizan, determinan el nivel del porcentaje de materia orgánica, la misma que sufre alteraciones debido a las variaciones de la temperatura y la humedad del medio, así como también por el pH, la cantidad de nutrientes disponibles, las clases y magnitud de los componentes coloidales, las condiciones del movimiento del aire y los componentes que conforman a la materia orgánica. El cambio de sistemas de cultivos anuales o de corta duración a cultivos perennes produce un incremento en el componente orgánico, conllevando a un aumento de la reserva orgánica del suelo que es mantenida mediante la incorporación de residuos producidos por los cultivos perennes cuyos suelos han sufrido una menor roturación del suelo (McFarlane, 2009), también se considera importante tener en cuenta que el exceso de las arcillas tienen un efecto negativo contra la actividad de los microorganismos en que viven en el suelo.

1.2.3. Degradación del suelo

Lichtinger *et al.* (2000) dicen que la degradación del suelo conlleva a la inmediata la reducción de la capacidad para producir los alimentos que requieren una población en continuo crecimiento, es una actividad de difícil solución, sobre todo cuando se cuándo se trata de la seguridad alimentaria de un país. La evaluación de la degradación del suelo es de suma importancia porque muchos aspectos de este proceso no son reversibles en cortos periodos de tiempo, como la merma de la materia orgánica así como la erosión del suelo. En este sentido, los responsables involucrados en la toma de decisiones en los sectores agrícolas, pecuarios, forestales e incluso ambientales, deben balancear los criterios con respecto a los tres aspectos sobre la calidad del suelo, los mismos que son: (a) La fertilidad, (b) La conservación de la calidad ambiental, y (c) La protección de la vida silvestre y la salud humana. Lal (1995) explica que el uso indiscriminado e intensivo de la tierra en la producción de cultivos estacionales o para pasturas en altas proporciones de almacenamiento, sistemas de producción basados en los recurso con o sin incrementos para

reponer los nutrientes cosechados en los cultivos y en la crianza de animales, intrínsecamente en suelos pobres con un medio ambiente muy severo, son algunos de los factores responsables del alto porcentaje de degradación de los suelos observados en las zonas tropicales y áridas del mundo. La severidad de la degradación del suelo se debe a efectos interactivos de causas, factores y procesos que están produciendo la degradación.

Algunas de las prácticas de manejo y el uso de los suelos en las actividades propias de la agricultura, pueden generar impactos negativos sobre la calidad del suelo, dentro de ellas están el uso excesivo de los fertilizantes nitrogenados y la contaminación creciente producida por la aplicación indiscriminado de los plaguicidas. En general, las disposiciones de origen político que están siendo aplicadas con relación a la reducción del riesgo en la degradación, están orientadas solo para mejorar las prácticas del manejo de plaguicidas y la reducción de su uso (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2008). La degradación de los suelos tiene un efecto directo sobre la agricultura porque disminuye los rendimientos de los cultivos y afecta notoriamente a los recursos hídricos, pero a la vez también está afectando gravemente a otros sectores de la economía y del medio ambiente en su conjunto, entre ellos las actividades industriales y comerciales, causados por las inundaciones o la acumulación de sedimentos transportados por los ríos y acumulados en las represas y los puertos.

Los procesos originados por la degradación son muy complejos que están interrelacionadas con muchos factores y con las propiedades del suelo, los mismos que están representados por un solo índice, sin tomar en cuenta toda esta complejidad. El estado de la degradación sería mejor representado por un índice de cada uno de los procesos de degradación. Sin embargo, estos índices deben ser más simples en lo posible. Desde un punto de vista regional, la aplicación de un índice es inversamente proporcional a la complejidad y al número de datos requeridos. Varios investigadores han propuesto índices para evaluar la degradación del suelo con criterios diferentes de acuerdo a sus objetivos planteados, aunque el más importante es aquel que conlleva a un criterio de simplicidad y de disponibilidad de datos para selección de los índices de degradación, de acuerdo con el tamaño del área tomada en cuenta para cualquier estudio relacionado con la degradación (Lal, 1995).

La FAO (2008) considera que la degradación del suelo consiste en la pérdida parcial o total de la productividad de manera cuantitativa o cualitativa, o en ambas formas, como una consecuencia de muchos procesos tales como la erosión causada por el agua o el aire, el aumento de la salinidad, el encharcamiento, la pérdida de los nutrientes, el desmejoramiento de la estructura, la desertificación y la contaminación. La pérdida de la calidad productiva del suelo está incrementándose tanto destructivamente así como en el aumento de las áreas degradadas en el planeta, ocasionando la pérdida de la capacidad productiva de las áreas destinadas a la producción agropecuaria (20 %), la descontrolada deforestación (30 %) y el incremento acelerado de las áreas destinadas al cultivo de pastos (10 %). Los procesos degradativos del recurso edáfico es la causa de serias implicancias para amortiguar los peligros del efecto invernadero (cambio climático) que se está incrementando en el mundo, como consecuencia de la descomposición acelerada de la masa biológica que está incrementando el nivel del carbono atmosférico, además de afectar seriamente a la capacidad que tiene el suelo para mantener el agua y los nutrientes que requieren las plantas.

La erosión del suelo se está acelerando en todos los continentes, cada año la erosión y otras formas de degradación de las tierras provocan una pérdida de entre 5 000 000 y 7 000 000 ha de tierras cultivables, degradándose unos 20 000 000 000 de ha de tierra de cultivo y de pastoreo, lo que amenaza directamente el abastecimiento global de alimentos. En los países en desarrollo, la deforestación y el cultivo en laderas con mucha pendiente ha producido una severa erosión, asimismo una pérdida de tierras de cultivo debido a la industria, los pantanos, la expansión de las ciudades y las carreteras. La erosión del suelo, la pérdida de las tierras de cultivo y de los bosques, afectan a la conservación de la humedad de los suelos y añaden sedimentos a las corrientes de agua, los lagos y los embalses (Scherr, 2006).

La degradación de las tierras bajo el enfoque de la *United Nations Convention to Combat Desertification* [UNCCD] (2013) citado por López (2016, p. 241) define a la degradación como la pérdida o reducción de la productividad biológica y económica en la agricultura temporal y de riego, agostaderos, tierras forestales y bosques, fenómeno que se manifiesta más claramente en las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas del planeta, como resultado del deficiente uso de la tierra en combinación con otros procesos que incluyen aquellos derivados de actividades realizadas por el hombre y por los patrones de poblamiento que

actualmente están produciendo la erosión del suelo causada por acción del agua o del viento, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y la pérdida de la vegetación a largo plazo. La UNCCD (2013) agrega que la degradación del suelo es el resultado de dos factores fundamentales que están ocurriendo: Las variaciones climáticas (VC) de larga y corta duración y las diversas actividades humanas (AH). Las VC de corta duración están caracterizadas por las sequías y las ondas de calor, las mismas que están afectando seriamente a la estabilidad y a la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos (SSE) Las AH están caracterizadas por los cambios en el uso del suelo causados por la implementación de prácticas de deforestación para aumentar las tierras destinadas a la agricultura, la ganadería y a la urbanización. Parte de este problema está concentrado en los SSE de las tierras áridas, las cuales están ocupando cerca del 45 % de la superficie del planeta, soportando una población cercana a los dos mil millones de personas, que representan cerca del 33,8 % de la población mundial.

El suelo es considerado como una mezcla muy heterogénea que está en estrecha relación con el material rocoso, el aire, el agua, los organismos y el medioambiente, ubicándose en la superficie del manto de naturaleza geológica superficial (rocas). Tiene un componente biológico muy activo, rasgos característicos como resultado de la interacción de las reacciones de orden físico, químico y biológico que actúan sobre el material de partida, la roca parental, a través de muchos años para dar origen a su conformación, razones que permiten considerarlo como un recurso no renovable debido a que requiere un periodo de tiempo demasiado extenso para formarse (Fernández, 2012). La aptitud del suelo para cumplir adecuadamente todas estas funciones, es lo que se conoce la capacidad productiva de un suelo. García *et al.* (2009, p. 5) considera que:

La degradación del suelo como proceso debido al cual, las propiedades edáficas, sufren alteraciones importantes como consecuencia de actividades antrópicas inadecuadas, o debido a procesos naturales. La degradación del suelo, es el proceso debido al cual, las propiedades edáficas. Estos procesos, ponen en riesgo los suelos, y en especial, aquellos más vulnerables, como son los presentes en ambientes áridos y semiáridos, teniendo lugar, como resultado de la degradación del recurso, una reducción de la productividad del mismo, pudiendo convertirlos en inservibles para su aprovechamiento, produciéndose un abandono de tierras o la despoblación de territorios.

La FAO (2015b) afirma que los suelos que son fundamentales para la vida, están llegando a límites críticos debido a las diversas presiones sobre este recurso. La pérdida de suelos que está en aumento, está influyendo notoriamente en la volatilidad de precios de los alimentos, siendo la causa para que millones de personas vivan en la pobreza. El manejo eficiente del recurso edáfico proporcionará la suficiente cantidad de alimentos convirtiéndose en una valiosa contribución en el mantenimiento del clima y para preservar los servicios que los agrosistema ofrecen a la humanidad. Lograr una gestión sostenible del suelo para evitar la degradación de este recurso, proporcionará grandes beneficios para las comunidades de todas las naciones. Será clave para la prosperidad económica en muchas zonas e incluso será importante para la seguridad nacional a corto y mediano plazo. Según la Agencia Internacional de Noticias [EFE] (2016). Los ciudadanos peruanos desconocen o no le dan importancia a la información relacionada con que el país tiene una superficie de 51 600 000 ha de tierras desérticas (40 % del territorio). Asimismo, el Perú junto a Chile son países sudamericanos que tienen el mayor porcentaje de tierras híper desérticas (Centro Peruano de Estudios Sociales [CEPES], 2015).

1.2.4. Degradación y calidad del suelo

Las definiciones más recientes sobre la calidad de los suelos están basadas en diversas funciones y no en un solo uso específico (Singer y Ewing, 2000). La Soil Science Society of América (Comité para la Salud del Suelo) [SSSA] (2021) define a la capacidad cualitativa del suelo como la aptitud que tiene para integrarse como componente de un sistema ecológico natural o artificial, para permitir una producción económicamente viable de las especies vegetales y animales, manteniendo y mejorando tanto al aire como al agua libres de impurezas, con la principal actividad para sostener la salud humana y ser hábitat de los seres del planeta. Astier *et al.* (2002) explica que los indicadores de la calidad de suelo considerados como una herramienta de medición para brindar la información requerida sobre las propiedades, los procesos y las características de la calidad del suelo. Estas herramientas orientan sobre las medidas que deben tomarse teniendo en cuenta el seguimiento de los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo en un periodo dado. Es necesario tener en cuenta que la calidad del suelo no es medida directamente, pero puede ser inferida mediante los indicadores de la calidad que son estáticos o dinámicos, los mismos que están influenciadas por el tipo de uso y las prácticas de manejo adoptadas del suelo (Tabla 3).

Tabla 3

Clases de calidad de suelos

| ÍNDICE DE CALIDAD | ESCALA | CLASES |
|--------------------------|---------------|---------------|
| Muy alta calidad | 0,80 – 1,00 | 5 |
| Alta calidad | 0,60 – 0,79 | 4 |
| Moderada calidad | 0,40 – 0,59 | 3 |
| Baja calidad | 0,20 – 0,39 | 2 |
| Muy baja calidad | 0,00 – 0,19 | 1 |

Fuente: Cantú et al. (2007).

Dexter (2004) enfatiza que las propiedades físicas del suelo que están consideradas como indicadores de calidad de suelo son las clases de estructura, las densidades aparente y de partícula, el grado de estabilidad de los agregados, la velocidad de la infiltración, la profundidad efectiva del suelo, la capacidad de retención hídrica y el movimiento del agua saturada. Por lo tanto, la calidad del suelo representa una la herramienta que permite identificar o conocer el nivel de la degradación del suelo en un momento dado, tanto para aplicar las medidas necesarias que deben tomarse en cuenta para lograr el mejor aprovechamiento de las cualidades del suelo, así como que proporcionan la información concreta en relación a las propiedades de orden físico, químico y biológico que caracterizan a los suelos.

Las propiedades que son muy sensibles al accionar humano son el contenido de restos orgánicos, la disponibilidad del P, la resistencia estructura, los tipos de estructurales y la relación agua-aire (Espinosa *et al.*, 2011). Es importante destacar la importancia de la actividad de los microorganismos sobre el mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos agrícolas que debe estar tener un balance equiparado con el ambiente, especialmente sostenida con la esfera viviente que debe tener una abundante población de macrofauna y microfauna. La población viviente tiene la capacidad de afectar a las características y cualidades edáficas de acuerdo a condiciones vitales. Las modificaciones más negativas sobre los beneficios del suelo, conllevan a una reducción de su calidad. Por lo tanto, un proceso degradativo causa modificaciones en las características edáficas y en sus funciones más importantes, pero estas alteraciones son de origen naturales o antrópicos. Las alteraciones de origen natural son escasas y permiten al suelo una rápida adaptación a las nuevas condiciones, mientras las

causadas por el hombre se caracterizan por ser rápidas y con mayor capacidad de afectar negativamente al complicado y débil equilibrio edáfico-ambiental, produciendo modificaciones muy muy peligrosas sobre características y reacciones que ocurren en el suelo. El mejoramiento de las características de suelo, tanto físicas, químicas o biológicas, contribuyen a mejorar la calidad de éste. El mejoramiento de las condiciones físicas como es el caso de la conductividad y los macroporos, conducen a una mayor actividad biológica de los microorganismos del suelo (Jaurixje *et al.*, 2013).

1.2.5. Fertilidad física, química y biológica del suelo

La cantidad de elementos nutritivos disponibles en el suelo significa el nivel de riqueza que tiene. Pero puede suceder que suelos fértiles pueden ser improductivos por efectos de tener reacción muy ácida, alto porcentaje de sodio intercambiable y de sales, baja capacidad retentiva del agua, excesiva humedad y bajo porcentaje del componente orgánico. Huerta *et al.*, (2008) señalan que un suelos fértil de manera natural o artificial mediante la adición de fertilizantes, significa la abundancia así como la disponibilidad de nutrientes para suplir los requerimientos de los cultivos, de tal manera, esta abundancia será el resultado integrado de las cualidades de orden físico, químico y biológico del suelo para mantener una suficiente humedad, brindar la cantidad necesarias de elementos nutritivos y tener la capacidad de sostener y permitir el normal crecimiento y desarrollo de los vegetales.

Porta *et al.* (2003) agrega que la aptitud del suelo para sostener el desarrollo de los vegetales, incluido la producción económica y la conservación sostenible de los ecosistemas definen a la fertilidad del suelo, la misma que está básicamente subdividida en la fertilidad física, química y biológica. La fertilidad física está estrechamente relacionada con la aptitud del recurso suelo para ofrecer las condiciones que las plantas requieren para el sostenimiento y desarrollo. La estructura, la porosidad, la capacidad retentiva de agua, la densidad aparente, los obstáculos para la penetración de las raíces, entre otras, forman parte de las variables que determinan la fertilidad física de suelos. Sin embargo, todavía es difícil la propuesta de soluciones con el fin de superar el manejo de las condiciones físicas del suelo. La fertilidad química está relacionada con la capacidad que tiene el suelo para almacenar los nutrientes esenciales que requieren los cultivos, cuyo desarrollo y/o crecimiento serán afectados por

la ausencia de alguno de estos elementos nutritivos. La cantidad de nutrientes disponibles en el suelo se determina mediante un análisis de suelos y/o plantas a mediante un proceso de diagnóstico de la sintomatología de las plantas, que luego permitirán determinar las estrategias de la fertilización. Asimismo la fertilidad química está relacionada directamente con la disponibilidad los elementos nutritivos en base a los efectos relacionados con la nutrición vegetal. La fertilidad biológica tiene una estrecha relación con los la actividad de las diversas formas de organismos que viven en el suelo y son indispensables para la realización de muchos cambios que ocurren en el suelo. Consecuentemente, aunque la fertilidad biológica del suelo es una parte del conocimiento edafológico, aún tiene un menor desarrollo; sin embargo, en la actualidad dispone de avances sumamente importantes en relación con los estudios enzimáticos, dentro de la bioquímica y la ecología microbiana de los suelos.

Rodríguez *et al.* (2011) manifiestan conocer si un suelo es fértil o no en los variados sistemas agrícolas, en la actualidad es de necesidad en el campo de la investigación a nivel internacional y local, debiendo ser complementada con el estudio de la capacidad indicadora de los organismos porque los niveles de empobrecimiento, pérdida de la calidad productiva e incremento del peligro de la aridez, factores que son negativos para los organismos que habitan en el suelo pero cuyas actividades normales significan un beneficio para el entorno vegetal, por tanto, el conocimiento de estos beneficios, incentivará la práctica del uso del suelo en concordancia con la protección medio ambiental.

Orozco *et al.* (2016) consideran que las propiedades microbiológicas que parte de las propiedades biológicas, son componentes básicos en la evaluación de la calidad del suelo porque está comprobado que tienen influencia directa sobre diversas funciones del suelo y que, al producirse alguna alteración de estas propiedades microbiológica, puede producirse modificaciones muy severas sobre las características físicas-químicas de los suelos. Porta *et al.* (2003, p. 538) señalan que “la actividad biológica resulta fundamental para el comportamiento del suelo, en especial la presencia de la materia orgánica tiene implicancias claras en el ciclo de los distintos elementos nutritivos”.

1.2.6. Indicadores de la calidad del suelo

Rubiano (2005) señala “que se desarrollado un sistema georeferencial de indicadores de la calidad de los suelos, el cual a partir de una base de datos permite su caracterización combinando elementos morfológicos y analíticos”. “Los indicadores son sistemas de calificación para visualizar el grado y el número de limitaciones del suelo que, integrados a un sistema de información geográfica, puede útil en la toma de decisiones por los dirigentes y los mismos productores”. Según Cartes (2013) los indicadores de la calidad del suelo son aquellos factores que sirven para medir condiciones, procesos, reacciones o comportamientos, permitiendo la obtención de informaciones relacionadas con una situación especial. Los impactos de nivel productivo y relacionados con el ambiente pueden evaluarse mediante los niveles de calidad del suelo. Entonces, se dispondrá de una herramienta sumamente importante para controlar la asociación de los elementos productivos. La calidad que tiene un determinado suelo puede ser cuantificado mediante algunas características ya sean del tipo física, químico y biológico, que valdrán para el monitorear cambios en que se están produciendo en el suelo en un mediano y largo plazo”.

Indicadores físicos

Cartes (2013) señala que para el monitoreo de la calidad del suelo mediante indicadores físicos existen varios indicadores del suelo como los procesos erosivos de origen hídrico, el contenido de material orgánico, los niveles de compactación del suelo (Densidad aparente), la magnitud de espacios libres en el suelo (Porosidad), la resistencia a la circulación del agua en el suelo (permeabilidad) en estrecha relación con las formas de cómo se están manejando al recurso edáfico. Acevedo (2005) dice que los indicadores físicos de la calidad del suelo varían de acuerdo con las características predominantes del lugar y el manejo, lo cual es válido también para los indicadores químicos y biológicos. Singer y Ewing (2000) reportan que las propiedades físicas del suelo constan con una parte necesaria de la evaluación de la degradación, así por ejemplo la calidad física del suelo está asociada con el uso eficiente del agua, de los nutrientes y de los pesticidas, aspectos que reducen el efecto invernadero y conllevan a un incremento de la producción agrícola. Carter (2002), Sánchez *et al.* (2002) y Dexter (2004) citados por García *et al.* (2012, p. 131) agregan que “la estructura, la densidad aparente, la estabilidad estructural, la infiltración, la profundidad del suelo superficial, la capacidad de almacenamiento del agua y la conductividad hidráulica, son características físicas del suelo son considerados indicadores de su calidad del suelo.

Indicadores químicos

Constituyen los indicadores químicos las propiedades que afectan las relaciones suelo-planta así como la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de nutrientes para las plantas y microorganismos, el pH, la conductividad eléctrica, el carbono orgánico total y lábil, la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el nitrógeno total y asimilable, la capacidad de adsorción de fosfatos y la disponibilidad de los micronutrientes (Soil Quality Institute[SQI],1996). El pH, la materia orgánica, el fósforo disponible, el potasio disponible y el nitrógeno asimilable actualmente son los indicadores que determinan los estándares de fertilidad del suelo, constituyéndose en los factores más importantes en relación con la producción de los cultivos. Cuando se evalúa la calidad del suelo (CS) en sistemas contaminados, otros indicadores toman mayor importancia, como es el caso de los elementos traza o elementos pesados disponibles (cobre, zinc, cadmio y plomo) que son también considerados como indicadores químicos (Silva, 2004). Los indicadores químicos de la degradación del suelo son normalmente tomados en cuenta mediante la interpretación de los rangos de pH o por la concentración de ciertos iones como es el caso de los nitratos. Según Navarrete *et al.* (2011) los indicadores de la calidad del suelo pueden ser incluso indicadores visuales obtenidos de la observación e interpretación fotográfica, considerándose dentro de estos indicadores a la exposición del subsuelo, los cambios en el color del suelo, las cárcavas efímeras o la tierra suelta. Estos indicadores visuales pueden proporcionar indicaciones muy importantes sobre la calidad del suelo.

Indicadores biológicos

El contenido de la materia orgánica es reconocido como un indicador muy certero en la determinación de la calidad del suelo utilizado para los sistemas productivos. La incorporación de los fertilizantes de naturaleza química juntamente con materiales orgánicos en sus diferentes, originan el mejoramiento de los procesos biológicos relacionados con la descomposición y la mineralización de la materia orgánica del suelo. La materia orgánica tiene una importancia fundamental porque contribuye en la estabilización de los agregados formados, siendo además un buen indicador de calidad de suelos (Cartes, 2013). La comunidad biótica que habita en el suelo es la responsable de los cambios biológicos y dentro de ellos están las plantas (flora), los invertebrados (macrofauna), los artrópodos, anélidos,

nematodos y moluscos mesofauna), microfauna los protozoos y algunos nemátodos (mesofauna) y las bacterias, actinomicetos, hongos y algas (microbiota) y el 80-90 % de los procesos biológicos son producidos por la microbiota, Los cambios biológicos citados tienen relación con la degradación y el aporte de materia orgánica que al descomponerse es responsable la producción de CO₂, con la intervención en la movilidad de los ciclos biogeoquímicos de los elementos y los efectos mecánicos de los animales y las plantas, así como el fraccionamiento de las rocas por las raíces, entre otros (Porta *et al.*, 2003). Los principales indicadores físicos, químicos y biológicos están resumidos en la Tabla 4.

Tabla 4

Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo

| INDICADOR | RELACIÓN CON LAS FUNCIONES Y CONDICIONES DEL SUELO |
|--------------------------------------|---|
| Indicadores físicos | |
| - Textura del suelo | Retención y transporte de agua y minerales; erosión del suelo a partir de su influencia en el tipo de estructura, la cantidad y tamaño de poros. |
| - Profundidad del suelo | Estimación del potencial productivo y de erosión, profundidad fisiológica. |
| - Infiltración y densidad aparente | Potencial de lixiviación, productividad y erosión. |
| - Capacidad de agua disponible | Agua disponible para las plantas. |
| - Porosidad y compactación | Retención y transporte de agua y nutrientes; erosión del suelo. |
| - Estabilidad de agregados | Erosión potencial, infiltración de agua. |
| Indicadores químicos | |
| - Materia orgánica (C y N) | Disponibilidad de nutrientes, fertilidad del suelo, estabilidad de agregados, a mayor cantidad: disminución de la erosión y aumento del potencial productivo. |
| - pH | Actividad química y biológica, límites para el crecimiento de las plantas y actividad microbiana. |
| - Conductividad eléctrica | Actividad microbiológica y de plantas. Limitante para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiológica. |
| - N, P y K extraíble | Disponibilidad de nutrientes para las plantas y pérdida potencial de N, Indicadores de productividad y calidad ambiental. |
| <i>Continuación</i> | |
| - Capacidad de intercambio catiónico | Almacén de nutrientes para las plantas, retención de contaminantes y amortiguación de pH. |
| Indicadores biológicos | |
| - Biomasa microbiana (C y N) | Actividad biológica, flujo de nutrientes, potencial catalizador microbiano y reposición de C y N. |

- N potencial mineralizable
- Respiración del suelo
- Riqueza y abundancia de fauna

Fuente: De Chen (2000) modificado por Acevedo *et al.* (2005).

El principal indicador de las actividades biológicas es el porcentaje de respiración del suelo, el mismo que puede ser evaluado a través de la evolución del dióxido de carbono resultante de la descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, la adición de materia orgánica de baja relación C/N, como es el caso de los estiércoles y los cultivos de cobertura con leguminosas, pueden incrementar los porcentajes de respiración del suelo debido a que esas sustancias se descomponen fácilmente. La adición de pesticidas o agroquímicos similares pueden perjudicar o matar directamente a los microorganismos del suelo, bajando los porcentajes de respiración del suelo y afectando seriamente la calidad de este recurso (Evanylo y McGuinn, 2000).

1.2.7. Proceso y tipos de degradación

Los principales factores que intervienen en el proceso degradativo del suelo son la compactación y la desertización que se manifiestan como una degradación física, o la acidificación, la salinización, la pérdida de la materia orgánica y la contaminación que determinan la degradación química.

a. Degradación física del suelo

Compactación de suelos

Se define como el aumento de la compactación y una merma de los poros grandes del suelo lo cual perjudica la función de los suelos obstaculizando la penetración de las raíces y la circulación libre del agua disminución de los macroporos que es perjudicial para que el suelo cumplir con sus funciones y obstaculiza que la raíz y el agua penetren libremente, afectando al intercambio de gases. La reducción en producción en la agricultura se incrementa cuando un suelo se compacta, significando una pérdida cerca del 60 % de éste, afectando al proceso productivo agrícola hasta un 80 % y el sobrepastoreo en un 16 %, estas son las principales

causas antrópicas de la compactación (FAO, 2016). La calidad del suelo es afectada de manera variable por el fenómeno de la compactación debido a las capas impermeables que se forman en la capa arable, produciendo encharcamientos locales. El horizonte que está ubicado por debajo de la capa arable por acción de la presión externa puede perder su permeabilidad, lo cual podrá inhibir que el agua y los elementos nutritivos puedan cumplir con su ciclo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2020). La compactación de suelos es uno de los procesos de degradación física más común en suelos agrícolas altamente productivos y una de las causas de la reducción de la productividad. Bajo esta perspectiva, se justifica el desarrollo de metodologías que permitan estimar los riesgos de compactación de los suelos, para así prevenir o mitigar sus efectos adversos (Reyes, 2010).

Gonzales *et al.* (2009) agrega que la compactabilidad está influenciada no solo por el contenido de materia orgánica, sino además por el tipo de materia orgánica, ya que material parcialmente descompuesto y altamente humidificado incrementa la resistencia del suelo a la compactación. La compactación provocada por presión de la masa sobre el suelo, realización de labores en condiciones inadecuadas de humedad es la principal causa de compactación del suelo, a lo que se suma la compactación que el resultado del excesivo tránsito cuando el suelo tiene una humedad. La maquinaria agrícola (tractores de ruedas) provocan mayor compactación que los tractores de oruga. Becerra *et al.* (2005) mencionan que la compactación es un fenómeno natural que expresa la respuesta del plasma del suelo a las fuerzas dispersivas del agua, acelerado con el uso y manejo de los suelos y aguas, contrario a la creencia de que la compactación se origina únicamente por el tráfico de maquinaria, a un contenido elevado de humedad edáfica.

Resistencia a la penetración

Para Herrick y Jones (2002) citados por Castellanos *et al.* (2013, p. 1) “la resistencia a la penetración es un indicador del nivel de compactación de un suelo”. “La compactación limita el crecimiento radicular y la cantidad de aire y agua de que disponen las raíces”. “Una forma de medir la resistencia a la penetración es calcular la resistencia del suelo al movimiento de un cono de penetración dividida la profundidad de penetración”. “Los penetrómetros pueden ser estáticos o dinámicos, los estáticos miden la fuerza empleada para empujar una sonda en

el suelo a una velocidad constante, los penetrómetros dinámicos miden la resistencia a la penetración al golpear la sonda repetidamente en el suelo”.

Sellado y encostramiento

El sellamiento o sellado del suelo es consecuencia de la cobertura permanente de un área determinada del suelo por diversos materiales artificiales impermeables, es el caso del asfalto y el concreto utilizado en la construcción de caminos y edificios. La ocupación del territorio es el incremento del área de asentamientos humanos en relación con un periodo de tiempo, que incluye el desarrollo de asentamientos dispersos sobre las zonas rurales, la conversión de la tierra dentro de un área urbana (densificación), así como también el crecimiento de la infraestructura de transporte, tales como caminos, carreteras, puentes y vías férreas (FAO, 2015c). El encostramiento del suelo es causado por la formación de una delgada capa impermeable que reduce la infiltración, favorece a la escorrentía y la erosión, también será influenciada de la textura del suelo, la estabilidad de los agregados, la topografía y las características de precipitaciones pluviales (FAO, 2020).

b. Degradación química

El Programa de Gestión y Conservación del Suelo [GCS] (2004) explica que la degradación química es el proceso que está relacionado con la alteración de las propiedades químicas del suelo. Esta modificación degradativa del suelo es la causante del empeoramiento de la calidad del suelo. La alteración o modificación de las propiedades químicas implica un cambio sustancial en la composición química del suelo. Esta modificación se lleva a cabo debido a la presencia de compuestos diferentes a los componentes normales del suelo o debido a una modificación en las cantidades de éstas sustancias por encima de las cantidades normales. El GCS (2004) agrega que en una primera instancia la degradación puede producirse al adicionarse diversas sustancias extrañas al suelo, lo cual constituye un aspecto claro de la contaminación. En un segundo caso, las modificaciones pueden producirse como consecuencia del uso normal del suelo. Sin embargo, es muy difícil separar y sobre todo observar ambas situaciones.

Los agrosistemas son responsables del deterioro continuo del suelo desde un punto de vista físico y químico, causando una merma de la productividad agrícola como resultado de rendimientos más bajos y de problemas ambientales cada vez más significativos. Estos procesos de degradación son bastante frecuentes en las regiones áridas del mundo (Quiñones y DalPozzo, 2008), regiones que comprenden más de la tercera parte de las tierras del mundo. Los suelos en esas regiones tienen un mayor potencial de fertilidad cuando disponen de un sistema de irrigación con un balance suficiente de elementos nutritivos. No obstante la implementación de sistemas agrícolas en estas zonas, en algunas ocasiones puede llevar a dos tipos de problemas: a) la degradación química del suelo, producto de la acumulación de sales solubles, y b) problemas de degradación física de suelos, como compactación, pérdida de estructura, los cuales no sólo provocan un déficit nutricional sino que también disminuyen el potencial productivo de estos suelos (Muñoz *et al.*, 2013).

Salinización

A nivel mundial existen grandes zonas áridas y semiáridas que están actual y potencialmente sujetas a severos procesos de degradación del suelo, incluyendo la erosión, la degradación estructural, la contaminación salina y la contaminación química, el agotamiento y la contaminación del suelo superficial y los recursos hídricos subterráneos y el agotamiento, degradación y modificación de la composición de la vegetación (PNUD, 2005). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2017) explica que algunas de las causas naturales de la salinización se dan cuando el agua subterránea alcanza a la superficie del suelo y al evaporarse deposita las sales que tiene disueltas, o cuando el terreno agrícola es inundado con agua de ríos o cuando se les aplica riegos pesados con aguas con algún contenido de sales. Entre las acciones del hombre que favorecen al aumento de la salinización del suelo, se puede citar a la deforestación, el deficiente drenaje, el riego con aguas saladas o con aguas residuales sin tratamiento alguno. Además, la salinidad produce efectos negativos sobre el crecimiento de las plantas, ejerciendo además un proceso adverso sobre la biota y sobre los procesos biológicos que son esenciales para mantener la calidad de los suelos (Mogollón *et al.* 2001).

Las consecuencias de esta anomalía en el suelo produce la falta de nutrientes para las plantas afectando al crecimiento y al color normal, así como la quema de las raíces. También es la

causa del efecto conocido como “plasmólisis”, que se produce cuando la planta cede su contenido de agua al suelo, totalmente contrario a lo que sucede en un proceso natural. Para corregir la salinización del suelo es recomendable la adición de materia orgánica debidamente compostadas, regar con aguas de ríos o mantos acuíferos que se encuentren libres de sales y/o minerales; también es aconsejable la nivelación del terreno para evitar encharcamiento del agua (FAO, 2017).

Perdida de materia orgánica

El GCS (2004) indica que la pérdida de la calidad productiva de los suelos en el aspecto químico (degradación química) es la reducción en el contenido de la materia orgánica causada por el mismo cultivo o por la erosión que produce su traslado y destrucción. El origen de los suelos se produce al combinarse de varios factores que provocan un fraccionamiento del material mineral mediante la mineralización y que al formar parte de incorporarse darán origen a una capa superficial denominado horizonte A, cuya característica más resaltante de la materia orgánica acumulada que le confiere una coloración marrón oscurecido. La pérdida del material orgánico produce un deterioro notorio que es la causa de una degradación física y química, pero la más peligrosa es la degradación química que tiene una relación muy estrecha con la merma de los elementos nutritivos aniónicos, donde la materia es una fuente esencial en el aporte de los aniones. El GCS (2004) agrega que al ser cultivado un determinado suelo, necesariamente se tiene que adicionar aquellos elementos nutritivos que son aplicados forma de compuesto minerales y la razón de esta adición es a manera de complementación de los requerimientos del cultivo en relación a los nutrientes que se encuentran en deficiencia, en este caso de deja de lado las correcciones de deficiencias que son causadas por otras propiedades del suelo, las mismas que tienen una relación con el material, orgánico.

Ribó (2004) dice que la pérdida de la materia orgánica se producen por la cantidad que se mineraliza, que es proporcional al contenido de humus del suelo debido a la poca consideración que se le ha dado a la materia orgánica desde que se inició el uso generalizado de fertilizantes de síntesis, es importante revalorizar el papel de la materia orgánica del suelo, ya que ésta desempeña una función insustituible en el mantenimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. La adición de residuos de origen vegetal y animal

en proceso de descomposición, aunada a la biomasa de los microorganismos, constituyen la principal fuente de la materia orgánica del suelo. Cuando estos residuos que son muy diferentes y suelen ser visibles son denominados materia orgánica fresca y cuando son sometidos a la acción de diversos factores de orden edáfico, climático y biológico, sufren un constante proceso de transformación, hasta convertirse en humus del suelo. La dinámica natural de la materia orgánica en el suelo es destacable porque no es un compuesto estable ni homogéneo, por puede transformarse que va transformándose y evolucionando sin cesar. La materia orgánica fresca, compuesta en su mayor parte por grandes macromoléculas orgánicas (celulosas, hemicelulosas, ligninas, otros carbohidratos complejos, proteínas, ácidos nucleicos, grasas, ceras, etc.) es descompuesta por la flora y fauna del suelo, para dar lugar a compuestos más sencillos (azúcares, péptidos, aminoácidos, etc.) (Ribó, 2004).

Los bloques básicos de las macromoléculas orgánicas son mineralizados por acción de los microorganismos o pueden ser parte de los complejos húmicos que han sido originados mediante la polimerización tanto biótica como abiótica de los restos vegetales que se degradan siendo parte de la materia original. Dentro las sustancias húmicas puede distinguirse a los ácidos húmicos, fúlvicos y a las huminas que difieren en sus diversas características y constitución. La coexistencia de dos procesos importantes es el origen del equilibrio húmico del suelo y estos son; la humificación y la mineralización, cuyas velocidades de estos procesos son dependientes en mayor proporción de la actividad biológica que está ocurriendo en el suelo y que además es función de factores climáticos como la temperatura y la humedad, edáficos que son determinantes de la porosidad, la clase textural, los tipos de estructura, las clases de permeabilidad, los rangos de pH, el contenido de nutrientes útiles para las plantas, etc.) y de labranza (rotación de cultivos, tipos de laboreo, formas de riegos, niveles de fertilización, técnicas agronómicas para contrar la erosión, etc.). La disponibilidad del humus a un nivel óptimo es de primordial importancia para el mantenimiento de la fertilidad del suelo, sobre todo el humus reciente que está en un proceso activo de evolución antes que el humus se haya estabilizado. En consecuencia, resulta mucho más interesante las incorporaciones frecuentes del material orgánico pero en cantidades o niveles limitados en comparación de las aportaciones más abundantes aplicados en periodos más distantes (Ribó, 2004).

González *et al.*, (2009) agrega que el contenido de materia orgánica mejora la estructura del suelo y contribuye a disminuir su compactibilidad. La materia orgánica en el suelo El proceso de formación y de la estabilidad estructural, el aumento del espacio poroso, la merma de densidad aparente, el incremento de la mejora la acción de los organismos del suelo y el incremento y disponibilidad del agua en el suelo, son influenciados por la materia orgánica. Este mejorador del suelo además, aumenta el periodo de duración de la humedad permitiendo desarrollar mejor las actividades productivas ya que la consistencia del suelo es mejorada. Los organismos que conforman la biota del suelo y los microorganismos, descomponen los residuos de plantas y animales, así como también a diversos derivados de la materia orgánica para convertirlos en la fuente de alimentación que requieren.

Al descomponerse los residuos de la materia orgánica, los elementos químicos en exceso tales como el nitrógeno, fósforo y azufre, son liberados en diversas formas en el interior del suelo y pueden ser utilizadas por las plantas de acuerdo con disponibilidad, especialmente de nutrientes. Aquellos componentes de deshecho originados por los microorganismos son los que dan origen a la formación de la materia orgánica del suelo. Estos componentes de desecho son los más difíciles de descomponer cuando se compara con la descomposición del material originario producido por las plantas y animales, pero a la vez pueden ser utilizados por numerosos organismos. Por medio de la descomposición de los restos vegetales y animales, la retención del C en la masa orgánica, así como la formación de nuevos compuestos a base del carbono, los organismos que viven en el suelo desempeñan funciones muy importantes en el proceso de reciclaje de los nutrientes esenciales para las plantas, lo cual aumenta la capacidad del suelo para suministrar a los cultivos la suficiente cantidad de nutrientes para cosechas abundantes. Asimismo la continua aplicación de los restos de plantas y otros tipos de materia orgánica que luego serán transformados por los organismos del suelo, ayudará a incrementar la capacidad para que la arquitectura del suelo que ha sido afectada pueda autorecuperarse (De Jesús, s/f).

Degradación biológica

La degradación biológica del suelo se manifiesta por la merma del material orgánico descompuesto, el humus. Esta merma que se produce en él, horizonte superficial del suelo.

Esta merma tiene una relación directa cuando la actividad microbiológica de suelos disminuye a los que suma la desaparición de diversos microorganismos nativos cuya función producir el reciclaje del nitrógeno y del fósforo y de otros elementos que sirven para el control de ciertas plagas que afectan a las plantas y que viven en el suelo. Este tipo de degradación se produce cuando las cubiertas vegetales y las posibilidades de reciclamiento mediante los residuos que son originados en el predio son eliminadas, todo este proceso se incrementa cuando se aplican al suelo sustancias tóxicas que tienen un efecto negativo directo sobre el conjunto de microorganismo que vive en el suelo (Gomero y Velásquez, 1999). Santos (2016) agrega que la degradación biológica del suelo consiste en la pérdida de la materia orgánica por disminución de los aportes vegetales y por el aumento de la tasa de mineralización. Esto es consecuencia principalmente de la erosión hídrica, el sobrepastoreo y la deforestación. La microfauna se refiere a las formas de vida animal de tamaño menor a 0,1 mm. La microfauna del suelo tienen como función principal la descomposición de los restos orgánicos y la redistribución de la flora microbiana (Santos, 2016).

La macrofauna del suelo está conformada por organismos que miden más de un centímetro de largo y más de 2 mm de diámetro, cuya actividad produce disminución de la materia orgánica, componente fundamental que influye sobre la fertilidad y los rendimientos de las plantas cultivadas. Cuando los suelos no tienen niveles suficientes de materia orgánica se convierten en tierras improductivas cuyas propiedades físicas deficientes interfieren el normal desarrollo de las plantas. El material orgánico cuando está en estado bruto es sintetizada por acción de los diversos microorganismos y por algunos macroorganismos que habitan en el suelo, para ser transformada en materia adecuada para el crecimiento de las plantas. Asimismo, está comprobado que al aplicar los plaguicidas, dentro de ellos los fungicidas, nematicidas y otros compuestos similares, dará origen a una reacción más drástica causando un desequilibrio en la población microbiológica porque los productos químicos aplicados se convertirán en antimicrobianos, afectando en diferentes proporciones con el fin de proteger a las plantas. Además, el efecto más notorio de las aplicaciones de un plaguicida más notorio será la esterilización parcial de la microflora del suelo, a causa de muchos cambios que se produciendo. Estas modificaciones pueden afectar seriamente por de muchos años (Santos, 2016).

1.2.8. Índices de degradación de los suelos

Según De Paz *et al.* (2006) el método para la determinación de los índices de degradación de los suelos, considera los siguientes aspectos:

Índice de degradación física

El índice de degradación física (IDF) se basa en la metodología propuesta por la FAO-PNUMA-UNESCO (1980) y que posteriormente fue adaptada por Sánchez *et al.* (1998), citado por De Paz, *et al.* (2006, p. 253). considerando que los principales parámetros y propiedades que juegan un rol importante en las propiedades físicas del suelo son la porosidad, la estructura y la capacidad retentiva de agua, porque están estrechamente relacionadas con el movimiento del agua, transporte de nutrientes, penetración de las raíces y emergencia de las plantas. De Paz *et al.* (2006) agrega que la disturbancia de las propiedades físicas del suelo origina un deficiente funcionamiento de estos procesos, causando la pérdida de la fertilidad y así como la degradación de los suelos. El índice de degradación física de los suelos se determina mediante la siguiente relación:

$$IDF = \frac{IE}{EE(CC-PM)100} \times 100$$

$$IE = \frac{(1,5 \times \% \text{ limo fino}) + (0,75 \times \% \text{ limo grueso})}{(\% \text{ arcilla} + \% \text{ materia orgánica}) 10}$$

Índice de degradación química

El suelo puede perder su rendimiento potencial debido a la acumulación de sales y a la alcalinización producida por el exceso de sodio intercambiable. Por lo tanto, el índice de degradación química (IDQ) propuesto toma en cuenta ambos procesos. Suelos con alto contenido de sales solubles o sodio intercambiable (Na⁺) o con de una baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), corresponden a suelos con un alto índice de degradación química que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IDQ = \frac{\text{Sales} + \text{Na}}{\text{CIC}}$$

Índice de degradación biológica

La degradación biológica (IDB) está relacionada con el agotamiento del contenido de materia orgánica del suelo y de los restos de la biomasa debido a la rápida mineralización o a la erosión del suelo. Este tipo de erosión es en parte causada por las malas prácticas de manejo (por ejemplo, la labranza agrícola, remoción del suelo, etc.) y por climas húmedos y cálidos (Sánchez *et al.*, 2000).

Según De Paz *et al.* (2006) el índice propuesto considera solo a la materia orgánica (MO) como el principal factor de la degradación biológica y es calculado mediante la siguiente fórmula:

$$IDB = \frac{1}{\%MO}$$

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La investigación utilizó un diseño no experimental con un alcance descriptivo y estratificado que fue desarrollado mediante el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas para conocer los niveles de degradación física, química y biológica de los suelos del fundo “El Milagro” por medio de la descripción de diez calicatas construidas en la zona en estudio cuyos resultados fueron evaluados de acuerdo con la ficha de descripción del perfil del suelo (ver Apéndice 4), luego las muestras fueron analizadas para conocer las propiedades fisicoquímicas y los niveles de degradación de los suelos en estudio (ver Apéndice 2). El tipo de la investigación fue básica porque se apoyó en un contexto teórico para conocer, describir, relacionar sin alterar ninguna de sus características (Hernández *et al.*, 2010), con el fin de señalarlas medidas para evitar la degradación de los suelos en estudio.

2.2. Lugar y fecha de ejecución

El trabajo de investigación fue desarrollado en los suelos del fundo “El Milagro” ubicado en el centro poblado “El Paraíso” que pertenece al distrito de Santa María, provincia de Huaura, región Lima. Su ubicación geográfica es de 11° 11’ 13’’ de latitud sur y 77° 38’ 25’’ de longitud oeste del Meridiano de Greenwich, con una altitud promedio de 90 m s.n.m. La zona de ingreso al predio “El Milagro” está a 200 metros antes del peaje “El Paraíso - Norvial” a la altura del kilómetro 140 de la Panamericana Norte, por una pista asfaltada, a 1,5 km de distancia.

En la comunidad Campesina El Paraíso, la mayor actividad de la población es la agricultura y la ganadería que son los componentes principales para el desarrollo de la comunidad. Entre los principales cultivos son: “mango” *Mangifera indica* L., “naranja” *Citrus x cinensis*

Osbeck, “sandía” *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. y Naka, “palta” *Persea americana* Mill, “mandarina” *Citrus reticulata* (Ten.) D.Rivera *et al.*, “maracuyá” *Passiflora edulis* Sims, “yuca” *Manihot esculenta* Crantz, “maíz” *Zea mays* L. y forrajes diversos para el uso en la actividad pecuaria creciente en la zona.

El presente trabajo de investigación tuvo una duración 12 meses, que inició en el mes de mayo del año 2018 y culminó abril del año 2019.

2.3. Población y muestra

a. Población

La población estuvo compuesta por los suelos del centro poblado “El Paraíso” donde está ubicado el fundo “El Milagro” que tiene una extensión de 230 ha, cuyas tierras están dedicadas a la producción agrícola para el cultivo de palta, naranja, maracuyá, fresa, maíz y otros cultivos alimenticios en mayor proporción. También un porcentaje menor de tierras están sosteniendo el cultivo de pastos diversos que son utilizados para la alimentación de la creciente actividad de la ganadería lechera.

b. Muestra

La muestra estuvo representada por las 10 calicatas ubicadas en los puntos de muestreo y que están representados en el mapa base del Fundo “El Milagro” (ver Apéndice 1). De cada punto de muestreo se obtuvieron las muestras con un peso aproximado de 1 kg. Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina para sus respectivos análisis de caracterización y con los resultados se evaluaron los niveles de degradación de los suelos en estudio.

En la Tabla 5 están indicados los puntos de muestreo con sus respectivas altitudes y ubicaciones geográficas.

Tabla 5

Punto de muestreo

| CALICATA | ALTITUD | UTMS | |
|----------|---------|-----------|------------|
| | | ESTE (X) | NORTE (Y) |
| CA-01 | 84 | 220436,13 | 8761980,84 |
| CA-02 | 99 | 220613,24 | 8762116,42 |
| CA-03 | 95 | 220643,80 | 8762253,76 |
| CA-04 | 100 | 220766,89 | 8762280,88 |
| CA-05 | 95 | 220698,67 | 8762166,45 |
| CA-06 | 89 | 220587,42 | 8762043,18 |
| CA-07 | 89 | 220449,28 | 8761912,21 |
| CA-08 | 85 | 220530,93 | 8761967,10 |
| CA-09 | 84 | 220740,40 | 8762103,10 |
| CA-10 | 82 | 220834,34 | 8762186,78 |

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Materiales

Los materiales utilizados en la ejecución del trabajo experimental fueron los siguientes:

Materiales de campo

Lápices, lapiceros, tablero de mano, fichas de descripción de los perfiles, cinta masking, bandeja de plástico, bolsas de polietileno de 1 kg de capacidad, plástico de un metro de longitud, reglas de madera 1,20 m de longitud, guantes, cámara fotográfica, etiquetas medianas y pequeñas y letreros, plumones indelebles de punta gruesa y delgada de color negro, calculadora, wincha, mapa base del fundo “El Milagro”.

Materiales de laboratorio

Guantes descartables, guardapolvo, mascarilla, vasos de vidrio, crisol de porcelana, balanza analítica, espátula, rodillo de madera, conductímetro, potenciómetro, pizeta de laboratorio, probeta graduada, vaso de precipitación, escobilla de laboratorio, tamiz, cuaderno de apuntes, plumones indelebles, cinta métrica y agua destilada. Reactivos necesarios para los análisis de las muestras de suelos.

Materiales de gabinete

Computadora, impresora, escáner, USB, programas estadísticos útiles de escritorio, papel bond de 80 g.

2.5. Técnicas e instrumentos

El trabajo de investigación fue ejecutado mediante la observación directa en el campo de los diez perfiles de suelo considerados en el estudio, tomando como base a la Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2009a). La interpretación de los resultados de laboratorio fue ejecutada en base al Manual de Campo para la Descripción y Muestreo de Suelos, propuesto por Schoeneberger *et al.* (2012) y los niveles de degradación de los suelos fueron calculados de acuerdo con la propuesta hecha por De Paz *et al.* (2006)

2.6. Descripción de la investigación

El estudio fue realizado a través de una secuencia de diversas actividades propuestas por Mejía (2019), agrupadas en una fase de preliminar complementada con las fases de campo, laboratorio y fase de gabinete, en estrecha relación con el Reglamento de tesis de la Dirección de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sedes Sapientiae. Estas fases fueron ejecutadas de la siguiente manera:

Fase preliminar

Esta fase comprendió las siguientes actividades:

- Reconocimiento del área de estudio.
- Recopilación, análisis y evaluación de la información existente con referencia al área con estudio.
- Elaboración del mapa base de la zona con la ubicación de los puntos de muestreo.

Fase de campo

En esta fase se desarrollaron las siguientes actividades:

- Reconocimiento general del área en estudio en base a las principales características edáficas, topográficas.
- Descripción de las calicatas ubicadas en los puntos de muestreo en base al plano del predio.
- Toma de muestras para los respectivos análisis en el laboratorio.

Fase de laboratorio

Las muestras de suelos tomadas en la fase anterior fueron enviadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Agraria la Molina, donde se realizaron los análisis de caracterización de cada una de las muestras colectadas (ver Apéndice 2). Los análisis de caracterización en el laboratorio comprendieron los siguientes aspectos:

- pH del suelo, determinado por el Método del Potenciómetro.
- Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla, determinado por el Método del Hidrómetro.
- Conductividad eléctrica (CE), determinada por el Método del Conductímetro.
- Materia orgánica, determinada por el Método de Walkley y Black.
- Fosforo disponible: Método de Olsen Modificado.
- Potasio disponible, determinado por la extracción con Acetato de Amonio.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC), determinado por el Método de Saturación con Acetato de Amonio.
- Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} cambiables: Por el Método del Acetato de Amonio.

Fase de gabinete

En esta fase consistió de las siguientes actividades:

- Ordenamiento de los datos obtenidos tanto en la fase de campo, como en la fase de laboratorio, para su posterior interpretación. La interpretación de los resultados para determinar los niveles de degradación de los suelos en estudio se hizo en base al método propuesto por De Paz *et al.* (2006), quien explica que este tipo de investigación busca la información necesaria para determinar lo siguiente:
 - a. Niveles de degradación física de los suelos.
 - b. Niveles de degradación química.
 - c. Niveles de Degradación biológica.

- Finalmente, se hizo la redacción del primer informe de la tesis para posteriormente sometimiento a la revisión respectiva por la Dirección de Investigación de la Facultad de Ingeniería Agraria y por la comisión revisora integrada por docentes especialistas para luego ser fijada la fecha de sustentación de la tesis ya culminada.

2.7. Identificación de las variables y su mensuración

Las variables que influyeron en el estudio de los suelos del fundo “El Milagro” fueron los parámetros que permitieron conocer los índices de degradación física, química y biológica de los suelos, cuyos niveles están mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6

Variables, unidades de medida y métodos de análisis de los índices de degradación

| VARIABLES EN ESTUDIO | UNIDADES DE MEDIDA | MÉTODO |
|--|-----------------------------------|--|
| 1. Variables : X | | |
| X1: Físicas | | |
| - Índice de encostramiento | Sin unidades | FAO-NUMA-UNESCO (1980) |
| - Estabilidad estructural | % | Tamices |
| - Capacidad de campo | cm ³ .cm ⁻³ | FAO-NUMA-UNESCO (1980) |
| - Punto de marchitez permanente | cm ³ .cm ⁻³ | Sawchic,1979 |
| X2: Químicas | | |
| - Sales | dSm ⁻¹ | Fotometría de llama |
| - Sodio intercambiable (Na ⁺) | cmol.kg ⁻¹ | Fotometría de llama |
| - Capacidad de intercambio catiónico (CIC) | cmol. kg ⁻¹ | Acetato de amonio CH ₃ COONH ₄ |
| X3: Biológicas | | |
| - Contenido de materia orgánica | % | Walkley y Black. |
| 2. Variables: Y | | |
| Y1: Degradación física | Sin unidades | FAO-NUMA-UNESCO (1980) |
| Y2: Degradación química | Sin unidades | FAO-NUMA-UNESCO (1980) |
| Y3: Degradación biológica | Sin unidades | FAO-NUMA-UNESCO (1980) |
| Y4: Niveles de degradación*: | | |
| - Muy bajo | Índice | FAO-NUMA-UNESCO (1980) |
| - Bajo | Índice | FAO-NUMA-UNESCO (1980) |
| - Medio | Índice | FAO-NUMA-UNESCO (1980) |
| - Alto | Índice | FAO-NUMA-UNESCO (1980) |
| - Muy alto | Índice | FAO-NUMA-UNESCO (1980) |

Fuente: Elaboración propia.

* Los valores de los niveles de degradación están representados en la Tabla 7.

2.8. Análisis de datos

Para determinar los niveles de degradación física, química y biológicas de los suelos del fundo “El Milagro” se utilizaron las fórmulas propuestas FAO-NUMA-UNESCO (1980) CITADO por De Paz *et al.* (2006, p. 153).

a. Índice de degradación física del suelo (IDF):

$$IDF = \frac{IE}{EE(CC-PMP)100} \times 100$$

Donde:

IDF = Índice de degradación física.

IE = Índice de encostramiento.

EE = Estabilidad estructural.

CC = Capacidad de campo.

PMP = Punto de marchitez.

Índice de encostramiento

$$IE = \frac{[(1,5 \times \% \text{LiF}) + (0,75 \times \% \text{LiG})]}{[\% \text{Arc} + (\% \text{MO})(10)]}$$

Donde:

IE = Índice de encostramiento.

% LiF = Porcentaje de limo fino.

% LiG = Porcentaje de limo grueso.

% Ar = Porcentaje de arena.

% MO = Porcentaje de materia orgánica.

a. Capacidad de campo

Según De Paz *et al.* (2006) la capacidad de campo fue calculada mediante la siguiente relación:

$$CC = [8,658 + (2,571) (\% \text{ MO})] + [(0,296) (\% \text{ limo})]$$

Punto de marchitez permanente para suelos arenosos (Sawchic,1979):

$$PMP = \frac{\text{Capacidad de campo (CC)}}{2}$$

b. Índice de degradación química (IDQ):

$$IDQ = \frac{\text{Sales} + \text{Na}}{\text{CIC}}$$

Donde:

IDQ = Índice de degradación química.

Sales = Contenido de sales solubles en dS.m^{-1} .

Na = Contenido de sodio intercambiable (Na^+) en cmol.kg^{-1} .

CIC = Capacidad de intercambio catiónico en cmol.kg^{-1} .

Si la conductividad eléctrica es obtenida desde el extracto de saturación del suelo (CEe), la ecuación es:

$$\text{Sales} (\text{dS.m}^{-1}) = [(13,5) (\text{CEe}(\text{dS.m}^{-1})) \left(\frac{\text{Hs}(\%)}{1000}\right)]$$

Donde:

Hs = Contenido de agua de saturación en el suelo (%).

Estimado del contenido de agua de saturación en porcentaje (Hs):

$$Hs = [28,215 + (6,09) (\% \text{ MO}) + (0,243) (\% \text{ Arc}) - ([0,11 \times \% \text{ Ao})]$$

Donde:

Hs = Porcentaje de humedad de saturación.

% MO = Porcentaje de materia orgánica.

% Arc = Porcentaje de arcilla.

% Ao = Porcentaje de arena.

Índice de degradación biológica

$$IDB = \frac{1}{\%MO}$$

Donde:

IDB = Índice de degradación biológica.

% MO = Porcentaje de materia orgánica.

Niveles de la degradación física, química y biológica

Los niveles de degradación física, química y biológica (Muy baja, baja, moderada, alta y muy alta) que fueron consideradas en la investigación están mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7

Niveles de degradación de los suelos

| NIVEL DE DEGRADACIÓN | ÍNDICE DE DEGRADACIÓN FÍSICA | ÍNDICE DE DEGRADACIÓN QUÍMICA | ÍNDICE DE DEGRADACIÓN BIOLÓGICA |
|-------------------------------------|---|--|--|
| Muy Baja | 0,00 – 1,00 | 0,000 – 0,002 | 0,0 – 0,08 |
| Baja | 1,00 – 3,00 | 0,002 – 0,02 | 0,08 – 0,15 |
| Moderada | 3,00 – 6,00 | 0,02 – 0,2 | 0,15 – 1,8 |
| Alta | 6,00 – 9,00 | 0,2 – 0,3 | 1,8 – 2,5 |
| Muy alta | > 9,00 | > 0,3 | > 2,5 |

Fuente: De Paz et al. (2006).

Correlaciones

Las correlaciones entre los índices de degradación física, química y biológica con las características o parámetros de los suelos que intervinieron en su determinación, fueron calculados mediante el programa Minitab ($p \leq 0,05$) (Little y Hills, 2020).

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Caracterización de los perfiles del suelo

3.1.1. Descripción de los perfiles de suelos

En base a los resultados de los análisis de caracterización de los 10 perfiles de los suelos del fundo “El Milagro”, considerando la profundidad de la capa arable (horizonte Ap), el contenido de gravas y la pendiente, los suelos estudiados fueron agrupados en dos unidades edáficas de la siguiente manera:

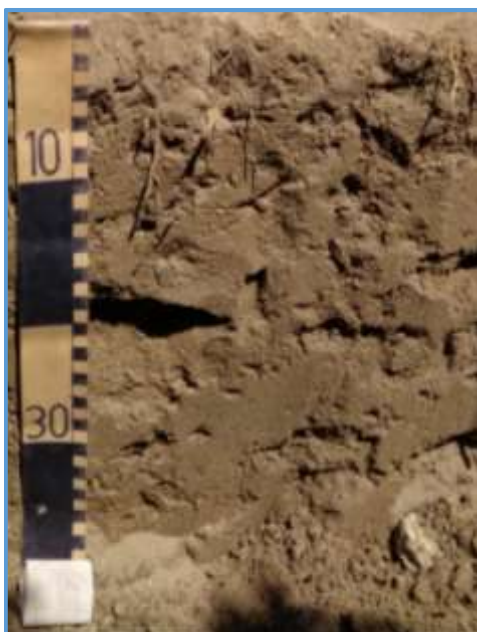
- Unidad edáfica 1, suelos muy superficiales (profundidad efectiva < 20 cm), con contenido moderado de gravas (entre 10 a 13 %) y con pendiente moderadamente inclinada (entre 4 a 6 %).
- Unidad edáfica 2, caracterizados por agrupar a los suelos superficiales (profundidad entre 30 a 50 cm), con ligera gravosidad (entre 4 y 6 %) y pendiente ligeramente inclinada (entre 9 a 11 %).

a. Unidad edáfica 1: Suelos muy superficiales con moderada gravosidad y pendiente moderadamente inclinada

Para esta unidad de suelos, después de la descripción de los perfiles *in situ*, y en concordancia con las fichas de descripción (ver Apéndice 4), se ha tenido en cuenta el perfil representativo denominado calicata modal que está representada por la calicata 1 (CA-01). La descripción fue dividida en dos partes: (a) Características generales, y (b) Descripción propiamente dicha del perfil modal (Figura 1).

Características generales

CALICATA CA-01



Suelos azonales con perfil A/C, material madre arenisca, A3sf(r), Aridisol, relieve ondulado, pendiente moderadamente inclinada, erosión moderadamente lenta, distribución superficial de raíces, no salino con 13 % de gravas, con cultivo de maracuyá, permeabilidad moderadamente rápida, bien drenado, con escorrentía superficial moderadamente rápida, napa freática profunda, húmedo, permeables y con ligeros problemas de alcalinidad.

En esta unidad edáfica están las calicatas CA-01, CA-02, CA-03, CA-07 y AC-08, las mismas que están ubicadas a una altura de entre 84 a 89 m.s.n.m.

Figura 1. Características generales de la calicata modal CA-01. Fuente: Elaboración propia

Descripción del perfil modal

La descripción del perfil modal está representada en la Tabla 8.

Tabla 8

Descripción del perfil modal CA-01

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Textura | Mod. Text. | Estruc-Tura | Consistencia | | | | | Límite | |
|------|------------|------------|---|---------|---------------|-------------|--------------|---|---|----|-----------------|--------|--------|
| | | H | S | | | | H | S | M | pH | CO ₃ | | |
| Ap | 0-20 | 5YR 4/2 | - | Gruesa | Grava 13 % | Bsf | Friable | | | | Básico | +++ | Difuso |

Fuente: Elaboración propia.

b. Unidad edáfica 2: Suelos superficiales con ligera gravosidad y pendiente ligeramente inclinada

Características generales

Las características generales del perfil modal de la Unidad edáfica 2 están presentadas en la Figura 2.

Calicata CA-06



Suelos azonales con perfil A/C, material madre arenisca, A3sf(r), Aridisol, relieve ondulado, pendiente ligeramente inclinada, erosión moderadamente rápida, distribución superficial de raíces, no salino con 10 % de gravas, con cultivo de naranjo y palto, permeabilidad moderadamente rápida, bien drenado, con escorrentía superficial moderadamente rápida, napa freática profunda, húmedo, buena porosidad y con ligeros problemas de alcalinidad.

En esta unidad edáfica están las calicatas CA-04, CA-05, CA-06, CA-09 y CA-10, las mismas que están ubicadas a una altura que varía entre 82 a 100 m.s.n.m.

Figura 2. Características generales de la calicata modal CA-06. Fuente: Elaboración propia

Descripción del perfil modal

La descripción del perfil modal de la Unidad edáfica 2 está representada en la Tabla 9.

Tabla 9

Descripción del perfil modal CA-06

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Textura | Mod. Text. | Estruc- Tura | Consistencia | | | | | Límite | |
|------|------------|-------|---|---------|------------|--------------|--------------|---|---|----|-----------------|--------|--------|
| | | H | S | | | | H | S | M | pH | CO ₃ | | |
| Ap | 0-30 | 7.5YR | - | Gruesa | Grava 5 % | Bsf | Friable | | | | Básico | +++ | Difuso |

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Resultados del análisis de los suelos del fundo “El Milagro”

Estos resultados están referidos a las características fisicoquímicas de los 10 perfiles de suelos del fundo “El Milagro” que fueron analizados en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina [UNALM] (ver Apéndice 2).

pH de los suelos

La Figura 3 muestra los resultados de los análisis del pH notándose que esta propiedad del suelo es muy variable, encontrándose rangos de 8,1 (suelos moderadamente básicos) a 9,13 (Muy fuertemente básicos), rangos que tendrán un efecto significativo en la degradación de los suelos.

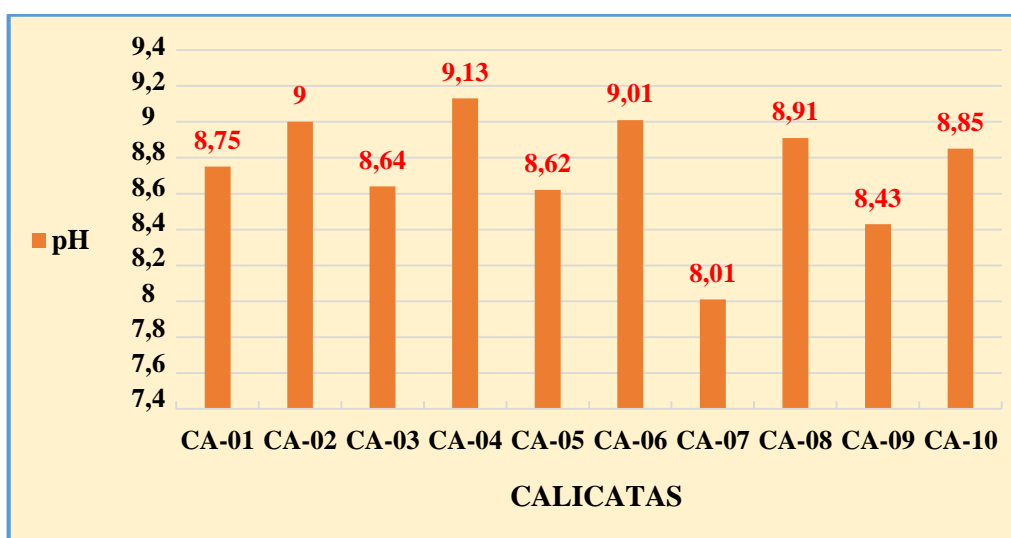


Figura 3. Resultados del análisis del pH de los suelos del Fundo “El Milagro”. Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALM (2018).

Conductividad eléctrica de los suelos

En la Figura 4 se tienen los resultados del análisis de la conductividad eléctrica, la misma que es muy variable, pero en ninguno de los casos supera el 1 %, indicando que en los suelos estudiados no se tienen problemas de salinidad.

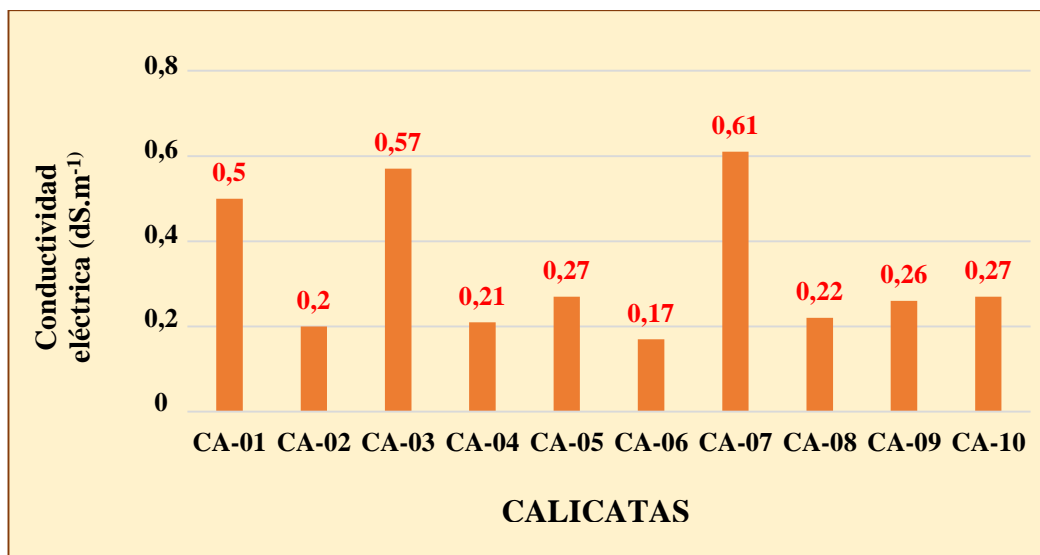


Figura 4. Resultados del análisis de la conductividad eléctrica de los suelos del Fundo “El Milagro”. Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALM (2018).

Carbonatos de calcio

Del mismo modo en la Figura 5 se muestran los resultados del análisis del contenido de carbonatos de calcio, el mismo que tiene valores variables desde 1,2 a 2,9 %, indicando que en todos los casos se encuentra en un nivel medio indicando que esta propiedad no tendrá efecto significativo sobre la degradación de los suelos.

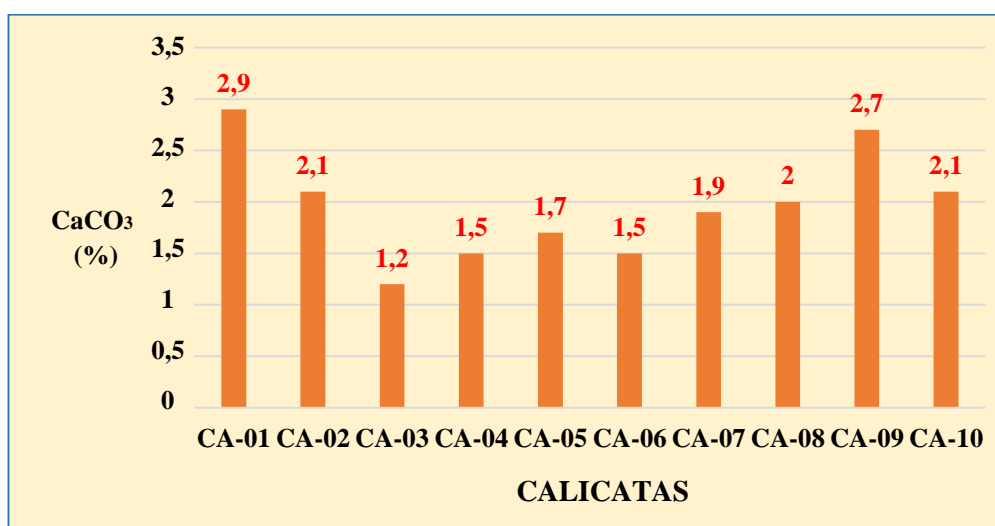


Figura 5. Resultados del análisis del contenido de CaCO₃ de los suelos del Fundo “El Milagro”. Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALM (2018).

Contenido de materia orgánica

En la Figura 6 están los resultados del análisis del contenido de materia orgánica que varía de 0,86 a 1,1 %, encontrándose en todos los casos en niveles muy bajos y en ningún caso supera el 2 %.

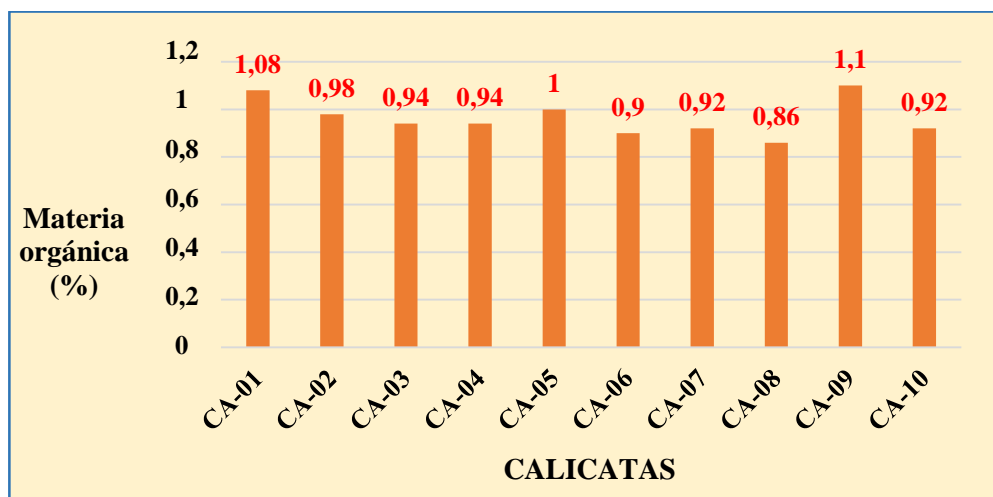


Figura 6. Resultados del contenido de MO de los suelos del Fundo “El Milagro”. Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALM (2018).

Contenido de fósforo disponible

Los resultados del análisis del fósforo disponible están mostrados en la Figura 7. El contenido de este elemento varía de 2,1 a 6,4 mg.kg⁻¹ indicando que en todos los casos está en un nivel bajo.

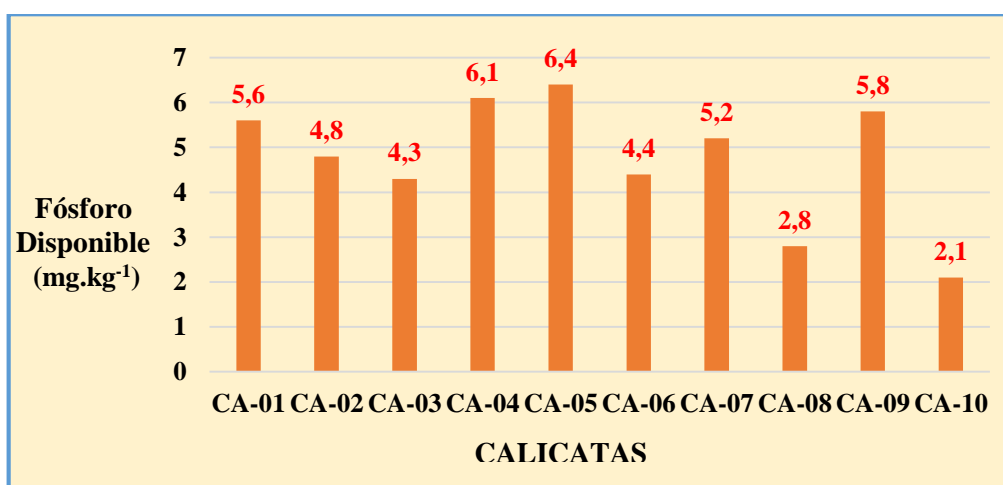


Figura 7. Resultados del contenido de P disponible de los suelos del Fundo “El Milagro”. Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALM (2018).

Contenido de potasio disponible

La Figura 8 muestra los resultados del contenido de potasio disponible que es variable desde 128 a 184 mg.kg¹, valores que corresponde a niveles medios en las diez calicatas.

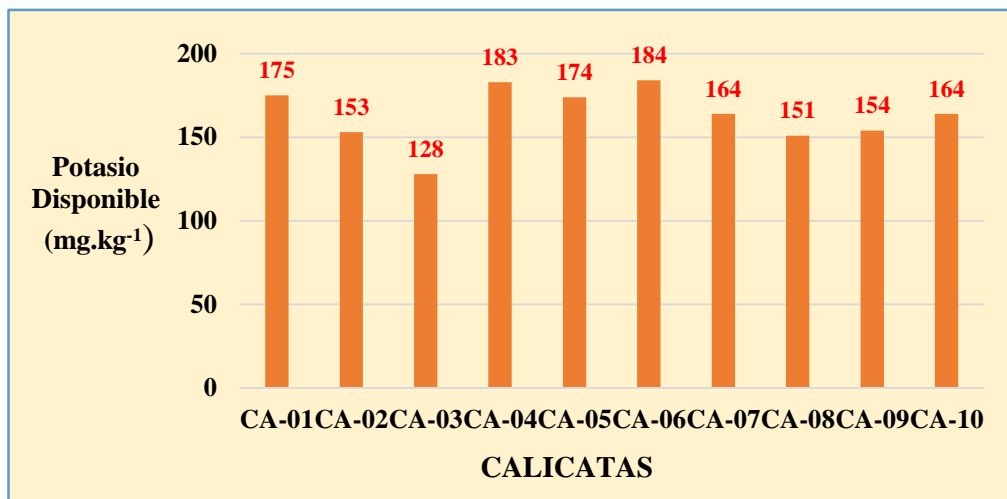


Figura 8. Resultados del contenido de K disponible de los suelos del Fundo “El Milagro”.
Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALM (2018).

Análisis textural

La Tabla 10 contiene los resultados del análisis textural de los suelos en estudio, observándose que en las 10 calicatas la textura es de tipo grueso por el predominio de la fracción arena.

Tabla 10

Resultados del análisis textural de los suelos del fundo “El Milagro”

| CALICATA | FRACCIONES TEXTURALES | | | CLASE TEXTURAL |
|----------|-----------------------|--------|-----------|----------------|
| | % arena | % limo | % arcilla | |
| CA-01 | 91 | 5 | 4 | Arena |
| CA-02 | 90 | 6 | 4 | Arena |
| CA-03 | 92 | 5 | 3 | Arena |
| CA-04 | 92 | 5 | 3 | Arena |
| CA-05 | 91 | 5 | 4 | Arena |
| CA-06 | 92 | 5 | 3 | Arena |
| CA-07 | 91 | 6 | 3 | Arena |
| CA-08 | 91 | 6 | 3 | Arena |
| CA-09 | 84 | 7 | 9 | Arena franca |
| CA-10 | 90 | 6 | 4 | Arena |

Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALM (2018).

Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico de los suelos en estudio también es variable y están agrupados en un nivel bajo (4,48 a 7,4 cmol (+).kg⁻¹), como se observa en la Figura 9.

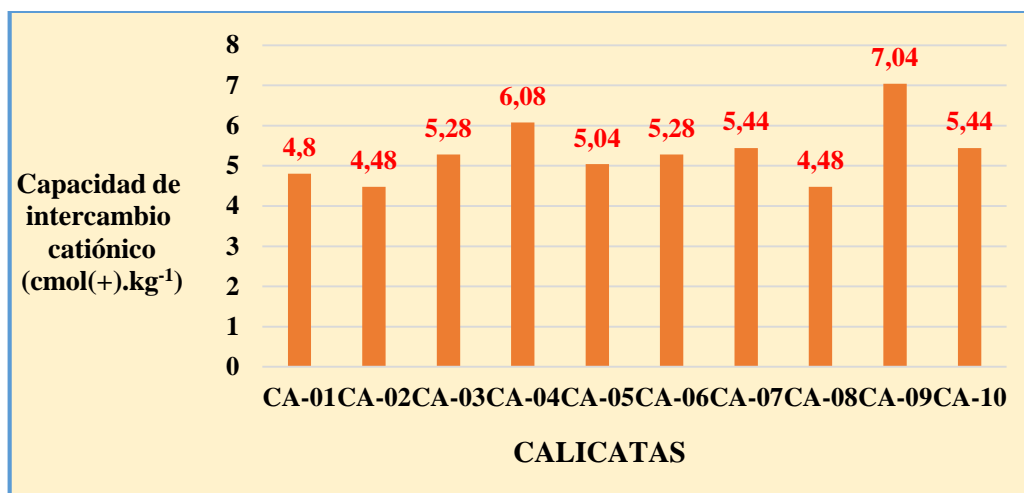


Figura 9. Resultados de la CIC de los suelos del fundo “El Milagro”. Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALM (2018).

Relaciones catiónicas

Las relaciones catiónicas son importantes porque permiten asumir las posibles deficiencias de estos cationes. Es importante tener en cuenta para la aplicación de los fertilizantes que requieren las plantas para tener un buen rendimiento. La relación Ca/Mg muestra una ligera deficiencia de Ca (Calicata 08), la relación Ca/K es ideal en todos los casos y la relación Mg/K es la que muestra mayores deficiencias de K (calicatas 01, 04 y 05) (Tabla 11).

Tabla 11

Resultados de las relaciones catiónicas de los suelos del fundo “El Milagro”

| Calicata | Relaciones Catiónicas | | | | | |
|----------|------------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|
| | Ca ²⁺ /Mg ²⁺ | | Ca ²⁺ /K ⁺ | | Mg ²⁺ /K ⁺ | |
| | Valor | Interpretación | Valor | Interpretación | Valor | Interpretación |
| CA-01 | 3,84 | Ideal | 6,95 | Ideal | 1,81 | Def. de Mg |
| CA-02 | 3,09 | Ideal | 7,28 | Ideal | 2,44 | Ideal |
| CA-03 | 2,81 | Ideal | 6,44 | Ideal | 2,29 | Ideal |
| CA-04 | 3,52 | Ideal | 5,63 | Ideal | 1,60 | Def. de Mg |
| CA-05 | 2,60 | Ideal | 5,11 | Ideal | 1,96 | Def. de Mg |
| CA-06 | 3,27 | Ideal | 8,54 | Ideal | 2,62 | Ideal |
| CA-07 | 2,74 | Ideal | 6,17 | Ideal | 2,25 | Ideal |

Continuación

| | | | | | | |
|-------|------|------------|------|-------|------|-------|
| CA-08 | 1,94 | Def. de Ca | 7,24 | Ideal | 3,73 | Ideal |
| CA-09 | 3,34 | Ideal | 9,29 | Ideal | 2,8 | Ideal |
| CA-10 | 3,66 | Ideal | 2,36 | Ideal | 2,37 | Ideal |

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de saturación de sodio intercambiable

El porcentaje de saturación de sodio (Tabla 12) permite conocer los problemas de sodicidad (Alcalinidad), debido a la alta concentración de Na^+ . En la investigación realizada esta concentración no ha sobrepasado el 15 %, las calicatas Ca-01 y CA-02 tienen un mayor riesgo de sodicidad, mientras que en el resto este riesgo es de ligero a muy ligero.

Tabla 12

Resultados del porcentaje de saturación de sodio de los suelos del fundo “El Milagro”

| Calicata | CIC $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ | Na^+ $\text{cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$ | % de Na^+ | Interpretación |
|----------|--|--|-----------------------|-----------------------------|
| CA-01 | 4,80 | 0,70 | 14,58 | Riesgo de sodicidad |
| CA-02 | 4,48 | 0,62 | 13,84 | Riesgo de sodicidad |
| CA-03 | 5,28 | 0,61 | 11,55 | Ligero riesgo sodicidad |
| CA-04 | 6,08 | 0,57 | 9,38 | Muy ligero riesgo sodicidad |
| CA-05 | 5,04 | 0,60 | 11,90 | Ligero riesgo sodicidad |
| CA-06 | 5,28 | 0,54 | 10,23 | Ligero riesgo sodicidad |
| CA-07 | 5,44 | 0,54 | 9,93 | Muy ligero riesgo sodicidad |
| CA-08 | 4,48 | 0,53 | 11,83 | Ligero riesgo sodicidad |
| CA-09 | 7,04 | 0,60 | 8,52 | Muy ligero riesgo sodicidad |
| CA-10 | 5,44 | 0,51 | 9,38 | Muy ligero riesgo sodicidad |

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Determinación de los índices de degradación de los suelos

Para la determinación de los índices de degradación tanto física, químico y biológica, se ha tenido en cuenta lo siguiente:

3.2.1. Determinación del índice de degradación física

El cálculo de los índices de degradación física de los suelos del fundo “El Milagro”, ha requerido del cálculo de una serie de factores que fueron estimados de la siguiente manera:

Estimado del índice de encostramiento

Los cálculos de los índices de encostramiento están en la Tabla 13. Estos índices fueron evaluados en base a los componentes texturales y el contenido de materia orgánica de los suelos, los mismos que fueron muy variables, habiéndose encontrado valores que variaron de 1,0152 (CA-09) a 3,4302 (CA-08).

Tabla 13

Cálculo del índice de encostramiento (IE)

| Calicata | % Limo fino | Datos requeridos | | | Índice de encostramiento (EI) |
|----------|-------------|------------------|--------------|--------------------|-------------------------------|
| | | % Limo grueso | % de Arcilla | % Materia orgánica | |
| CA-01 | 21 | 79 | 4 | 1,08 | 2,0926 |
| CA-02 | 18 | 81 | 4 | 0,98 | 2,2577 |
| CA-03 | 21 | 79 | 3 | 0,94 | 3,2181 |
| CA-04 | 21 | 79 | 3 | 0,94 | 3,2181 |
| CA-05 | 21 | 79 | 4 | 1,00 | 2,2688 |
| CA-06 | 21 | 79 | 3 | 0,90 | 3,3611 |
| CA-07 | 18 | 82 | 3 | 0,92 | 3,2065 |
| CA-08 | 18 | 82 | 3 | 0,86 | 3,4302 |
| CA-09 | 34 | 66 | 9 | 1,10 | 1,0152 |
| CA-10 | 18 | 82 | 4 | 0,92 | 2,4049 |

Fuente: Elaboración propia.

Estimado de la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP)

Los datos considerados necesarios para el cálculo tanto de la capacidad de campo y el punto de marchitamiento, están mostrados en la Tabla 14. Estas características fueron calculadas en base al % de materia orgánica y % de limo presentes en los suelos en estudio y los valores encontrados fueron muy variables, la CC varió de 0,1194 (CA-02) a 0,1280 (CA-10) y el PMP varió de 0,0597 (CA-02) a 0,0645 (CA-09).

Tabla 14

Cálculo de la capacidad de campo y punto de marchitez permanente

| Calicata | Datos requeridos | | Capacidad de campo (CC) (cm ³ .cm ⁻³) | Punto de marchitez permanente (PMP) (cm ³ .cm ⁻³) |
|----------|----------------------|----------|---|---|
| | Materia orgánica (%) | Limo (%) | | |
| CA-01 | 1,08 | 5 | 0,1291 | 0,0645 |
| CA-02 | 0,98 | 6 | 0,1194 | 0,0597 |

Continuación

| | | | | |
|-------|------|---|--------|--------|
| CA-03 | 0,94 | 5 | 0,1255 | 0,0627 |
| CA-04 | 0,94 | 5 | 0,1255 | 0,0627 |
| CA-05 | 1,00 | 5 | 0,1271 | 0,0636 |
| CA-06 | 0,90 | 5 | 0,1245 | 0,0622 |
| CA-07 | 0,92 | 6 | 0,1280 | 0,0640 |
| CA-08 | 0,86 | 6 | 0,1265 | 0,0633 |
| CA-09 | 1,10 | 6 | 0,1265 | 0,0633 |
| CA-10 | 0,92 | 6 | 0,1280 | 0,0640 |

Fuente: Elaboración propia.

Determinación del índice de degradación física de los suelos del fundo “El Milagro”

Los datos necesarios para el cálculo de los índices de degradación física fueron el índice de encostramiento (IE), la estabilidad estructural (EE), la CC y el PMP, los mismos que están mostrados en la Tabla 15. Los índices de degradación física encontrados también fueron muy variables, con valores de 1,4973 (CA-09) a 5,7028 (CA-03 y CA-04).

Tabla 15

Resultados de la determinación de los índices de degradación física

| Calicata | IE | Datos requeridos | | | Índice de degradación física |
|----------|--------|------------------|--------|---------|------------------------------|
| | | EE | CC | PMP | |
| CA-01 | 2,0926 | 7 | 0,1291 | 0,0645 | 4,6348 |
| CA-02 | 2,2577 | 7 | 0,1194 | 0,0597 | 5,4025 |
| CA-03 | 3,2181 | 9 | 0,1255 | 0,0627 | 5,7028 |
| CA-04 | 3,2181 | 9 | 0,1255 | 0,0627 | 5,7028 |
| CA-05 | 2,2688 | 8 | 0,1271 | 0,0636 | 4,4590 |
| CA-06 | 3,3611 | 8 | 0,1245 | 0,0622 | 4,9760 |
| CA-07 | 3,2065 | 9 | 0,1280 | 0,0640 | 5,5151 |
| CA-08 | 3,4302 | 10 | 0,1265 | 0,0633 | 5,4189 |
| CA-09 | 1,0152 | 10 | 0,1356 | 0,0678 | 1,4973 |
| CA-10 | 2,4049 | 8 | 0,1280 | 0,04971 | 4,4971 |

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Determinación de los índices de degradación química

Para hacer la determinación de los índices de degradación química de los suelos, se requieren hacer los cálculos o estimados de las siguientes características:

Estimado del contenido de sales

Previo al estimado de sales se deben realizar los siguientes cálculos:

a. Cálculo del contenido de agua de saturación en porcentaje (Hs):

Los datos requeridos para este cálculo del valor del agua de saturación (Hs) están incluidos en la Tabla 16. Estos fueron el contenido de materia orgánica y los porcentajes de arcilla y arena presentes en los suelos es estudio. El Hs calculado también tuvo valores que variaron de 24,1714 (CA-08) a 27,8286 (CA-09).

Tabla 16

Datos requeridos para el estimado del agua as saturación (Hs)

| Calicata | Datos requeridos | | | Hs |
|----------|------------------|-----------|---------|---------|
| | % MO | % Arcilla | % Arena | |
| CA-01 | 1,08 | 4 | 91 | 25,7542 |
| CA-02 | 0,98 | 4 | 90 | 25,2552 |
| CA-03 | 0,94 | 3 | 92 | 24,3050 |
| CA-04 | 0,94 | 3 | 92 | 24,3050 |
| CA-05 | 1,00 | 4 | 91 | 25,2670 |
| CA-06 | 0,90 | 3 | 92 | 24,3050 |
| CA-07 | 0,92 | 3 | 91 | 24,5368 |
| CA-08 | 0,86 | 3 | 91 | 24,1714 |
| CA-09 | 1,10 | 9 | 84 | 27,8286 |
| CA-10 | 0,92 | 4 | 90 | 24,8898 |

Fuente: Elaboración propia.

b. Cálculo de la conductividad eléctrica efectiva

Los datos requeridos para el cálculo de la conductividad eléctrica efectiva (CE_e) están señalados en la Tabla 17. La CE_e de los suelos del fundo “El Milagro” fue variable con valores que oscilaron entre 3,353 (CA-10) a 4,488 $dS.m^{-1}$ (CA-01 y fueron calculados en base a los resultados obtenidos sobre la $CE_{1:1}$.

Tabla 17

Datos requeridos para la determinación de la C_{Ee}

| Calicata | Dato requerido Na⁺ | C_{Ee} |
|-----------------|--|-----------------------|
| CA-01 | 0,70 | 4,488 |
| CA-02 | 0,66 | 4,249 |
| CA-03 | 0,61 | 3,950 |
| CA-04 | 0,57 | 3,711 |
| CA-05 | 0,60 | 3,891 |
| CA-06 | 0,54 | 3,532 |
| CA-07 | 0,54 | 3,532 |
| CA-08 | 0,53 | 3,473 |
| CA-09 | 0,60 | 3,891 |
| CA-10 | 0,51 | 3,353 |

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos y que están considerados en las Tablas 16 y 17 se calcularon el contenido de sales en los suelos en estudio, cuyos resultados están anotados en la Tabla 18, también fueron variables desde 0,083 (CA-10) a 0,116 (CA.01). El contenido de sales de los suelos en estudio fue calculado teniéndose en cuenta la C_{Ee} y la relación del % Hs/1000.

Tabla 18

Datos requeridos para el cálculo del contenido de sales

| Calicata | Datos requerido | | Contenido de sales |
|-----------------|---|------------------|-------------------------------|
| | C_{Ee} (dS.m⁻¹) | % Hs/1000 | |
| CA-01 | 4,488 | 0,0258 | 0,116 |
| CA-02 | 4,249 | 0,0253 | 0,107 |
| CA-03 | 3,950 | 0,0243 | 0,096 |
| CA-04 | 3,711 | 0,0243 | 0,090 |
| CA-05 | 3,891 | 0,0253 | 0,098 |
| CA-06 | 3,532 | 0,0243 | 0,085 |
| CA-07 | 3,532 | 0,0245 | 0,086 |
| CA-08 | 3,473 | 0,0242 | 0,084 |
| CA-09 | 3,891 | 0,0278 | 0,108 |
| CA-10 | 3,353 | 0,0249 | 0,083 |

Fuente: Elaboración propia.

Cálculos de los índices de degradación química de los suelos del fundo “El Milagro”

Finalmente, con los datos incluidos en las Tablas 15, 16 y 17 con relación al contenido de sales, porcentaje de Na intercambiable y capacidad de intercambio catiónico de los suelos

del fundo “El Milagro”, fueron determinados los niveles de la degradación química de los suelos en estudio, tal como está indicado en la Tabla 19. Los niveles de degradación química encontrados variaron desde 0,0169 (CA-01) hasta 0,1645 (CA-02).

Tabla 19

Datos requeridos para el cálculo de la degradación química

| Calicata | Datos requeridos | | | Índices de degradación química |
|----------|------------------|-----------------|------|--------------------------------|
| | Sales | Na ⁺ | CIC | |
| CA-01 | 0,116 | 0,70 | 4,80 | 0,0169 |
| CA-02 | 0,107 | 0,62 | 4,48 | 0,1645 |
| CA-03 | 0,096 | 0,61 | 5,28 | 0,1337 |
| CA-04 | 0,090 | 0,57 | 6,08 | 0,1086 |
| CA-05 | 0,098 | 0,60 | 5,04 | 0,1385 |
| CA-06 | 0,085 | 0,54 | 5,28 | 0,1184 |
| CA-07 | 0,086 | 0,54 | 5,44 | 0,1151 |
| CA-08 | 0,084 | 0,53 | 4,48 | 0,1371 |
| CA-09 | 0,108 | 0,60 | 7,04 | 0,1006 |
| CA-10 | 0,083 | 0,51 | 5,44 | 0,1090 |

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Determinación del índice de degradación biológica

El parámetro requerido para el cálculo de los niveles de degradación biológica de los suelos fue solamente el contenido de materia orgánica, tal como están mostrados en la Tabla 20. Estos niveles de degradación biológica fueron variables y los valores encontrados oscilaron entre 0,1628 (CA-08) y 1,1111 (CA-06).

Tabla 20

Datos requeridos para el cálculo del índice de degradación biológica

| Calicata | Dato requerido % de materia orgánica | Índices de degradación biológica |
|----------|---|----------------------------------|
| CA-01 | 1,08 | 0,9259 |
| CA-02 | 0,98 | 1,0204 |
| CA-03 | 0,94 | 1,0683 |
| CA-04 | 0,94 | 1,0638 |
| CA-05 | 1,00 | 1,0000 |
| CA-06 | 0,90 | 1,1111 |
| CA-07 | 0,92 | 1,0869 |
| CA-08 | 0,86 | 0,1628 |

Continuación

| | | |
|-------|------|--------|
| CA-09 | 1,10 | 0,9091 |
| CA-10 | 0,92 | 1,0869 |

Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Niveles de degradación física, química y biológica de los suelos del fundo “El Milagro”

En base a los resultados que se encuentran en las Tablas 15, 19 y 20 que muestran los índices de degradación física, química y biológica de los suelos del fundo “El Milagro”, tal como están señalados en la Tabla 21. Los niveles de degradación física, química y biológica mayormente fueron del nivel medio, con algunas excepciones que se observan en la tabla siguiente.

Tabla 21

Resumen de los índices de degradación de los suelos del fundo “El Milagro”

| Calicata | Índices de Degradación | | | | | |
|----------|-----------------------------|----|------------------------------|---|--------------------------------|---|
| | Degradación física (IDF) | | Degradación química (IDQ) | | Degradación biológica (IDB) | |
| CA-01 | 4,6348 | M | 0,0169 | B | 0,9259 | M |
| CA-02 | 5,4025 | M | 0,1645 | M | 1,0204 | M |
| CA-03 | 5,7028 | M | 0,1337 | M | 1,0683 | M |
| CA-04 | 5,7028 | M | 0,1086 | M | 1,0638 | M |
| CA-05 | 4,4590 | M | 0,1385 | M | 1,0000 | M |
| CA-06 | 4,9760 | M | 0,1184 | M | 1,1111 | M |
| CA-07 | 5,5151 | M | 0,1151 | M | 1,0869 | M |
| CA-08 | 5,4189 | M | 0,1371 | M | 0,1628 | M |
| CA-09 | 1,4973 | MB | 0,1006 | M | 0,9091 | M |
| CA-10 | 4,4971 | M | 0,1090 | M | 1,0869 | M |

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Correlaciones entre las características y los niveles de degradación

3.3.1. Correlación características vs niveles de degradación física

Dentro de las correlaciones entre los índices de degradación y los factores que sirvieron de base para la determinación de éstos, se encontró lo siguiente:

- a. El índice de degradación física (IDF) mostró una correlación positiva altamente significativa ($p \leq 0,05$) con el índice de enconamiento ($r^2 = 0,7375$) y la capacidad de campo ($r^2 = 0,6331$). Asimismo, no se encontró una correlación significativa con la estabilidad estructural ($r^2 = 0,0688$) y el punto de marchitez $r^2 = 0,07019$).
- b. El índice de degradación química no mostró una correlación significativa con los parámetros considerados para la determinación de los niveles de degradación y que fueron el contenido de sales, el sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico, los mismos que mostraron un coeficiente de determinación (r^2) de 0,1738, 0,2459 y 0,0299, respectivamente.
- c. El índice de degradación biológica tampoco mostró una correlación significativa ($p \leq 0,05$) con relación al contenido de materia orgánica con un coeficiente de determinación (r^2) de 0,0612, el mismo que fue el único factor para la determinación de este tipo de degradación.

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Caracterización de los perfiles de suelo

Mediante la caracterización de los 10 perfiles (ver Apéndice 4), labor realizada *in situ*, los suelos del fundo “El Milagro” han sido agrupados en dos unidades edáficas, de la siguiente manera:

4.1.1. Descripción de los perfiles

a. Unidad edáfica 1: Suelos muy superficiales

En esta unidad están agrupados los suelos que tienen una profundidad efectiva muy superficiales, con una pendiente moderadamente inclinada y con un nivel bajo de fertilidad. Además son suelos con una baja aptitud agrícola debido a tener limitaciones debidas al factor edáfico y a la fertilidad natural, requiriendo además, de la implementación de un sistema de riego para ser utilizados en la producción agrícola. Estas condiciones están contribuyendo a que los niveles de los índices de degradación no sean los óptimos. La profundidad efectiva, la pendiente, los niveles de fertilidad así como la aptitud agrícola de los suelos del Fundo “El Milagro” son muy similares a los suelos del sector de Medio Mundo que fueron estudiados por Ventocilla (2015), quién encontró que los suelos de esa zona se caracterizan por ser de muy superficiales a superficiales, con pendiente moderadas, de baja fertilidad natural y con baja aptitud agrícola. Del mismo modo, los suelos del trayecto Huaura-Mazo estudiados por Silva (2020), también reporta la existencia de suelos muy similares a los suelos del fundo “El Milagro”, indicando que en ambos casos, con muy ligeras variaciones, corresponden a suelos de la zona costera de la provincia de Huaura.

Unidad edáfica 2: Suelos superficiales

En esta unidad están agrupados los suelos que tienen una profundidad efectiva muy superficial mayor de 20 cm, con una pendiente ligeramente inclinada y con un nivel bajo de fertilidad. Además estos suelos tienen baja aptitud agrícola debido a las limitaciones debidas al factor edáfico y a la escasa fertilidad natural y que requieren también de agua de riego para ser utilizados en la producción agrícola. Estas condiciones, del mismo modo están influyendo en los niveles de los índices de degradación que tienen estos suelos. Las características edáficas de los suelos de esta unidad edáfica que tiene el fundo “El Milagro” también son muy similares a los suelos del sector de Medio Mundo (Ventocilla, 2015) que tienen dentro sus factores limitantes a una escasa profundidad superficial con una pendiente inclinada u una baja fertilidad natural, debido a los bajos niveles en el contenido de materia orgánica y pobres en fósforo disponible.

4.1.2. Análisis físico-químico de los suelos del fundo “El Milagro”

Con relación al pH de los suelos en estudio se ha encontrado que esta propiedad es muy variable, habiendo suelos moderadamente básicos, fuertemente básicos y muy fuertemente básicos, de acuerdo a la Tabla del pH propuesto por Schoeneberger (2010). Los valores del pH que son altos tendrán un efecto negativo sobre la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de nutrientes, según a los suelos del trayecto Huaura-Mazo estudiados por Silva (2020), se encontró rangos de pH similares, que varían de 8,0 a 8,45, siendo moderadamente básicos. De igual manera Ventocilla (2015), de los suelos del predio “Fundo Nuevo”, en Végueta-Huaura, encontró que el pH de esos suelos fue de ligeramente básicos a moderadamente básicos. La (FAO, 2020), señala que los $\text{pH} > 8,5$ causa la dispersión de los suelos dificultando el desarrollo normal de las plantas, condición que debe tenerse en cuenta al momento de manejar estos suelos con respecto a la conductividad eléctrica, se encontró que los suelos del fundo “El Milagro” también fueron variable en los niveles de sales, pero se encontraron valores muy bajos que variaron de 0,17 a 0,61 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, notándose claramente que, en ninguno de los casos, la conductividad eléctrica actual significará un riesgo de salinidad que afecte el desarrollo normal de los cultivos que se desarrollen en el fundo en estudio. Los suelos del trayecto Huaura-Mazo estudiados por Silva (2020), que son muy similares a los suelos del fundo estudiado, mostraron sin

problemas de salinidad. De igual manera Ventocilla (2015), de los suelos del predio “Fundo Nuevo”, Végueta-Huaura, encontró sin problemas de salinidad. Sin embargo, se debe tener en cuenta lo reportado por Gómez (2019) en el sentido que la salinización es producto de un deficiente manejo de los suelos en la actividad agropecuaria y es un factor que degrada a los suelos, especialmente, en las zonas desérticas, del mismo modo, cuando los niveles de sales y de sodio intercambiables se incrementan pueden causar la inestabilidad de las propiedades de los suelos en las zona áridas y semiáridas, desmejorando la permeabilidad y alterando la percolación del agua, condiciones que afectarán al movimiento libre del agua del suelo y por ende afectando seriamente al crecimiento normal de las plantas, lo cual significa una degradación química más acentuada, aunque el tema de la permeabilidad y de la percolación no se haya tomado en cuenta en esta investigación pero intrínsecamente tienen una redacción directa con el aumento de la degradación química, según lo explica la FAO (2020).

Con referencia a los carbonatos de calcio los resultados demuestran también que son muy variables, pero en ninguno de los casos excede al 5 %, encontrándose suelos con contenido medio de carbonatos en las 10 calicatas estudiadas, estos niveles no tienen efectos adversos con respecto a los niveles de degradación de los suelos, siendo además, muy similares a los niveles de carbonatos encontrados en los suelos del transecto Huaura-Mazo que estudiados por Silva (2020). Del mismo modo, Ventocilla (2015), encontró que los suelos del predio “Fundo Nuevo” en Végueta-Huaura, también mostraron contenidos medios de carbonatos de calcio, indicando la similitud que tienen los suelos de la franja costera de la provincia de Huaura, lo cual confirma que los niveles de carbonatos de calcio encontrados no serán la causa de riesgo alguno que afecte la calidad productiva de los suelos estudiados ni en el normal desarrollo de las plantas. Los resultados obtenidos son sumamente importantes porque permiten prever que de acuerdo a los niveles de carbonatos en el suelo son muy bajos (< 1%), una consecuencia inmediata es la pérdida de la estructura del suelo, propiedad que tampoco ha sido tomada en cuenta específicamente en este estudio pero si fue utilizado la estabilidad estructural de los agregados del suelo, considerando que de una u otra manera la acidificación y/o la descalcificación de los microagregados estarán afectando seriamente la estructura y por ende causando la degradación física de los suelos (Jordan, 2010).

La presencia de la materia orgánica está en porcentajes demasiados bajos en todas las calicatas estudiadas y muy escasamente superan el 1 %, de igual manera en los suelos del sector de Medio Mundo estudiados por Ventocilla (2015) y a los suelos del trayecto Huaura-Mazo estudiados por Silva (2020), zonas muy cercanas al fundo “El Milagro”, también mostraron niveles muy bajos de materia orgánica. Del mismo modo, La Rosa (2018) al estudiar los suelos de las laderas del cerro Concacucho, Lima, encontró un contenido muy bajo de materia orgánica, afirmando que estos niveles bajos tendrán un efecto negativo sobre la fertilidad natural del recurso suelos y que para evitar este inconveniente debería tenerse en cuenta la aplicación de enmiendas orgánicas para evitar que los niveles de degradación se incrementen. Del mismo modo, se debe tener en cuenta lo reportado por Romero (2014) quién afirma que una de las formas que causa la pérdida de la materia orgánica en los suelos agrícolas, son las deficientes labores de campo realizadas durante el proceso productivo, convirtiéndose así, en un factor determinante de la degradación del suelo. Además quedó demostrado que la capa superficial (0,20 m) en los suelos cultivados, sufrieron alteraciones a causa de las labores culturales, mostrando una merma en el contenido de MO, del P y K disponibles así como del Ca^{2+} y el Mg^{2+} .

Del mismo modo, los resultados con respecto al fósforo disponible en los suelos del fundo “El Milagro” mostraron niveles bajos o pobres. También, el contenido de potasio disponible fue encontrado en niveles variables, pero en todos los casos no superan al nivel medio, resultados que indican que para el mejor uso de los suelos se requieren de un plan equilibrado plan de fertilización en concordancia con los resultados del análisis del suelo, teniendo en cuenta que las adiciones de fósforo y de potasio en niveles deben ser en niveles intermedios, teniendo en cuenta, además, la importancia que significa la incorporación de materia orgánica suficiente, acompañada de una fertilización nitrogenada, para mantener un equilibrio aceptable en la fertilización con NPK, de acuerdo al tipo de cultivo que se desea desarrollar, para así evitar el incremento de la degradación, tal como lo señala Ventocilla (2015).

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico se ha encontrado que estos suelos tienen una CIC baja con valores que variables que no superan el nivel medio, indicando que esta propiedad requiere de un plan de mejoramiento, sobre todo teniendo en cuenta que la CIC

es el principal factor edáfico muy importante para el almacenamiento de los elementos nutritivos que son requeridos por las plantas cultivadas, aunque también puede retener contaminantes. Además, como indica Acevedo (2014), desempeña un rol importante en la amortiguación del pH. Entonces, una forma de mejorar la CIC de manera más rápida sería aumentando los niveles de materia orgánica de los suelos del fundo “El Milagro”

Las relaciones catiónicas encontradas en los suelos estudiados, en la mayoría de casos están en un nivel ideal, con algunas excepciones, al relacionar el calcio con el magnesio (Ca/Mg) se encontró una cierta deficiencia de calcio. Del mismo modo, al relacionar Mg/K se encontró una posible deficiencia de magnesio. Del mismo modo, al evaluarse los resultados del porcentaje de saturación del sodio intercambiable (Na^+) se ha encontrado que los diez suelos estudiados tienen riesgos de sodicidad o alcalinidad debido a que los valores porcentuales obtenidos están muy cercanos al 15 % de concentración, que es el límite para calificar al suelo como alcalino o sódico, lo cual sugiere la aplicación de medidas para evitar que el sodio intercambiable aumente en su contenido, permitiendo una mayor degradación de los suelos en estudio. Para evitar este efecto negativo, además, se debe tener en cuenta que la adición de materia orgánica compostado (estiércoles especialmente), los riegos con agua de ríos o de los mantos acuíferos y las actividades de nivelación de las tierras para evitar el estancamiento del agua, podrían ser la causa de un aumento significativo la sodificación, tal como lo señala la FAO (2017).

4.2. Índices de degradación de los suelos del fundo “El Milagro”

Luego de haberse evaluado las características y cualidades del suelo sobre los índices de degradación de los suelos del fundo “El Milagro”, se ha encontrado que la degradación física como en la degradación química y la degradación biológica, en la mayoría de los suelos estudiados, están en un nivel medio. Los cálculos de estos índices fueron hechos en base a la tabla de índices de degradación sugerida por De Paz, *et al.* (2006). Con relación a los resultados obtenidos, Mogollón *et al.* (2014) mencionan que los suelos bajo un cultivo con manejo convencional muestra mayores problemas de degradación química porque presenta bajo contenido de carbono orgánico, mayores valores de conductividad eléctrica y niveles altos de sodio intercambiable. Asimismo, Muñoz (2013) encontró que una degradación variable en cuanto a la degradación física y biológica en los suelos estudiados; además,

menciona que entre menos materia orgánica tenga el suelo, mayor es el IDB en consecuencia el incremento del índice refleja una tasa elevada de mineralización, lo que implica una baja acumulación de materiales orgánicos, afectando con esto la calidad y fertilidad del suelo. Además Loayza (2020) agrega que los suelos estudiados en Potreropampa, Andahuaylas, tenían índices altos de degradación originada por el monocultivo disminuyendo la fertilidad tanto química como biológica del suelo; a lo que se suma un pH ácido con promedio de 5,44, CIC moderadamente alta, con capacidad de campo en promedio de 23,26 % y un punto de marchitez de 12,55 % y con resultados del análisis que mostraron valores N, P, K y C.E. muy po debajo de los óptimos requeridos, como un consecuencia de que los suelos de Potreropampa estuvieron manejados por una mínima rotación de los cultivos aunada a una erosión severa que estuvo afectando la productividad de esos suelos.

4.3. Correlaciones entre características de los suelos y niveles de degradación

Al efectuarse las correlaciones entre los factores que intervinieron en la determinación de los índices de degradación de los suelos del fundo “El Milagro” (ver Apéndice 6), se encontró lo siguiente:

- a) A pesar que el promedio de degradación física (IDF) de los suelos en estudio fueron encontrados en niveles medios, este tipo de degradación está afectada con alta significación estadística por el índice de encostramiento (IE) que mostró un coeficiente de determinación (r^2) igual a 0,7375 y por la capacidad de campo (CC) con un coeficiente de determinación de 0,6331. Las variables estabilidad estructural (EE) y punto de marchitez permanente (PMP) con coeficientes de determinación de 0.2459 y 0.07019, respectivamente, que también fueron parámetros considerados, no mostraron correlación con la degradación física de los suelos en estudio. Por lo tanto, teniéndose en cuenta que los componentes texturales (arena, limo y arcillas) conjuntamente con el contenido de materia orgánica determinan el índice de encostramiento, así como también la misma materia orgánica y el porcentaje de limo juegan un rol muy importante en la determinación de la capacidad de campo, permite suponer que para mejorar o por lo menos mantener los índices de degradación física encontrados en este estudio, se debe tener en cuenta un plan de aplicación de materia orgánica y un manejo adecuado del agua de riego con fin de contrarrestar los efectos negativos del exceso de arena y la escazés de arcilla, lo cual permitiría disminuir el encostramiento superficial y mejoraría la capacidad

de campo de los suelos en estudio. Por consiguiente se debe tener en cuenta lo señalado por Muñoz (2013) quién explica que degradación física está vinculada con la alteración de de muchas propiedades como la porosidad, densidad aparente, estabilidad de los agregados, disponibilidad de materia orgánica, nitrógeno asimilable y capacidad de campo.

- b) Los factores que se tuvieron en cuenta para la determinación del índice de degradación química fueron el contenido de sales, cuyos cálculos fueron hechos en base de la conductividad eléctrica y el porcentaje de saturación de sodio intercambiable de los suelos; conjuntamente con la capacidad de intercambio catiónico, y el porcentaje de saturación de agua, que fue calculado en base al contenido de la materia orgánica y los contenidos de arcillas y arena presentes en los suelos en estudio, permitieron obtener que los niveles de degradación química también se encontraban en niveles medios. Sin embargo, las correlaciones entre las sales, el contenido de sodio intercambiable y la capacidad de intercambio catiónico, que fueron parámetros básicos para el cálculo de los índices de degradación química, no mostraron significación estadística debido a que sus coeficientes de determinación fueron muy bajos ((0,1738, 0,2459 y 0,0299, respectivamente). Aunque aparentemente estas correlaciones no mostraron un efecto directo sobre la degradación química de los suelos, es importante tener en cuenta que el movimiento de las sales así como del sodio intercambiable tienen una relación directa con el movimiento del agua en los espacios libres del suelo, lo cual estaría originando que los porcentajes de sodio se encuentren cercanos a una alta sodicidad, que de no controlarse aumentaría el riesgo de una alta degradación química de los suelos, tal como enfatizan Mogollón *et al.* (2014).
- c. El índice de degradación biológica que calculada en base al contenido de la materia orgánica presente en los suelos del fundo “El Milagro” no mostró correlación estadística debido a que el índice de determinación (r^2) fue de 0,0299, significando que la materia orgánica que fue encontrada en porcentajes menores del 1 %, no ha afectado negativamente ni mejorará en forma directa o indirectamente a los niveles de la degradación biológica y que están considerados también en un nivel medio. Al respecto, Muñoz (2013) encontró que el IDB mostró una correlación inversa con los niveles de materia orgánica y (-0,891), observándose que a medida que decrece la materia orgánica se incrementa la degradación biológica. Asimismo, agrega que en las tierras protegidas

por una cubierta vegetal, mostraron los mayores contenidos de materia orgánica en el suelo y por lo tanto, el impacto de la degradación biológica fue menor. Muy al contrario, en las tierras desprovistas de cobertura vegetal y con un enconamiento en la capa superficial fueron tuvieron niveles muy escasos de C orgánico, con una intensidad mayor del proceso degradativo. También se debe tener en cuenta que una de las formas que causa la pérdida de la materia orgánica en los suelos agrícolas, son las deficientes labores de campo realizadas durante la preparación de los suelos para el inicio del proceso productivo, convirtiéndose esta pérdida en un factor determinante de la degradación del suelo (Romero, 2014). Estos logros deben ser tomados en cuenta para mejorar y por lo menos mantener en el estado en que se encuentra la degradación biológica de los suelos del fundo “El Milagro”.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Luego de la discusión de los resultados obtenidos durante el presente estudio, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Los suelos del fundo “El Milagro”, están agrupados en dos unidades edáficas: (i) Suelos muy superficiales con moderada gravosidad y con pendiente moderadamente inclinada. En Estos suelos son de uso agrícola con baja aptitud agrícola (A3) con limitaciones debidas al factor suelo (s) y a la baja fertilidad natural (f). Además, estos suelos requieren de agua de riego (r) para sostener el desarrollo de los cultivos, (ii) Suelos superficiales, con ligera gravosidad y con pendiente ligeramente inclinada. Estos suelos son de uso agrícola con baja aptitud agrícola (A3) con limitaciones debidas al factor suelo (s) y baja fertilidad natural (f). Además, estos suelos requieren de agua de riego (r) para sostener el desarrollo de los cultivos.
2. Al evaluarse las propiedades de los suelos en estudio se ha encontrado lo siguiente: Los suelos del fundo “El Milagro” tienen una escasa profundidad que apenas llega a los 30 cm, con presencia de grava que es considerada como un modificador textural. El pH (que incluso es $>9,0$), indica que podrían ser suelos con alto contenido de sodio. La conductividad eléctrica es muy baja indicando que los suelos no tienen problemas de salinidad que desmejoren la calidad productiva de los suelos.
3. Del mismo modo, el contenido de CaCO_3 está en niveles por debajo de 5 % que considera a los suelos del fundo “El Milagro” sin riesgos de fijación de fósforo ni con dificultades por la toxicidad de los carbonatos. El contenido de materia orgánica indica niveles bajos en todas las calicatas estudiadas, indicando que los suelos son pobres en materia orgánica, niveles que tienen un efecto importante en la degradación de los suelos del fundo “El Milagro”. Asimismo, los niveles de fósforo son bajos y el potasio disponible en un nivel medio alto, lo cual es aceptable para los suelos de la costa desértica que están mejor dotados de este elemento.

4. La textura predominante en todos los suelos estudiados es de tipo gruesa (Arena y arena franca) con una mayor proporción de la fracción arena y con escaso porcentaje de arcillas, significando que los suelos tienen una baja capacidad retentiva de agua y una baja capacidad de intercambio catiónico que influyen notoriamente en los niveles de degradación de estos suelos. La capacidad de intercambio catiónico de los suelos estudiados es baja, la misma que también tendrá un efecto positivo en la degradación de estos suelos, los niveles de la CIC requieren ser mejorados.
5. Las relaciones Ca/Mg y Ca/K en todos los casos se encuentran en niveles ideales, pero en la relación Mg/K se ha encontrado posibles deficiencias de magnesio, aunque en la mayoría de los casos la relación es ideal. El porcentaje de saturación de sodio intercambiable en los suelos del fundo “El Milagro” tiene niveles con riesgos altos de sodicidad (10-14 % de Na⁺) a muy ligeros riesgos de sodicidad (8-10 % de Na⁺), indicando que se debe tener en cuenta estos valores para evitar el incremento de los problemas de alcalinidad o sodicidad que puedan afectar a estos suelos.
6. Con respecto a los índices y niveles de degradación de los suelos del fundo “El Milagro” se ha encontrado lo siguiente: (a) La degradación física ha mostrado índices que varían de 1,4973 a 5,7028; la degradación química del mismo modo también tiene variaciones que van desde de 0,0169 a 0,1645. De igual manera, la degradación biológica también se han encontrado notorias variaciones con índices que van desde que van desde 0,1628 a 1.11, las mismas que ubican a los en un nivel medio de degradación. En consecuencia, será conveniente que se tome medidas orientadas al mejoramiento del contenido de la materia orgánica en los suelos estudiados.
7. En base a los mencionados índices se considera que existe una correlación entre la degradación física y índice de encostramiento y la capacidad de campo, más no con la estabilidad estructural y el punto de marchitez permanente. Sin embargo se debe tener en cuenta que porcentaje de arena y de arcilla, así como como también el contenido de materia orgánica y el porcentaje de liomo son determinantes en la determinación de nivel de encostramiento y de la capacidad de campo, factores que deben tenerse en cuenta para conservar o mejorar los niveles de degradación física. En cuanto a la degradación química se ha encontrado al correlacionar esta degradación con los parámetros que sirvieron para

los cálculos de los niveles de degradación no existe correlación entre los índices de degradación química con los niveles de sales, Na^+ y capacidad de intercambio catiónico, sin embargo se debe tener en cuenta los niveles altos en que se encuentra el sodio intercambiable con el fin de evitar que los suelos adquieran niveles altos de sodicidad.

8. Las propiedades de los suelos estudiados debido al deficiente manejo que han tenido los suelos, están influyendo en los niveles de degradación encontrados. El escaso desarrollo pedogenético debido al clima adverso y la escasa vegetación como factores de formación del suelo, el pH que es básico con predominio de los compuestos calcáreos insolubles, la materia orgánica en niveles bajos, la baja capacidad de intercambio catiónico influenciada por la escasa materia orgánica y la clase textural que tiene predominio de arena, los cationes cambiables que tienen el predominio del catión Ca^{2+} , así como el catión Na^+ con niveles muy cercanos al 15 % y los niveles bajos de P disponible están contribuyendo de manera clara con los niveles de degradación de los suelos del fundo “El Milagro”.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la aplicación de enmiendas orgánicas con la finalidad de aumentar el contenido de materia orgánica, mejorar los niveles de la capacidad de intercambio catiónico, contrarrestar el efecto negativo del exceso de arena que tiene la textura y en cierto modo mejorar los niveles de la fertilidad natural de dichos suelos. Sería recomendable la aplicación de materia orgánica de calidad certificada, entre 20 a 30 t.ha⁻¹ en periodos de tres a cuatro años.
2. Mejorar los niveles de fertilización en concordancia con los análisis de los suelos, tratando de no aplicar fertilizantes que aumenten el contenido calcio de los suelos ni sean propiciadores del aumento del contenido de sales, paralela a esta actividad se debe también hacer un análisis de las aguas de riego a fin de no aumentar el contenido de Na⁺ para evitar el incremento de la alcalinidad (sodicidad), lo cual sería sumamente negativo para la producción de los cultivos. No se debe dejar de lado la implementación de un plan para la aplicación de materia orgánica.
3. Considerar las posibilidades de implementar programas de capacitación a nivel de pequeños y medianos productores agrícolas de la zona sobre temas de la degradación de los suelos y las graves consecuencias que se producirán en un futuro cercano, para lo cual debe solicitarse la participación de las diversas instituciones dedicadas en la investigación, tales como los institutos nacionales de investigación agraria, el gobierno regional, las municipalidades y las universidades.

REFERENCIAS

- Acevedo, I., Sánchez, A. y Mendoza, B. (2021) Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. I. análisis multivariado. Barquisimeto. Venezuela. *Bioagro* 33(1). Recuperado de doi: <http://www.doi.org/10.51372/bioagro331.7>
- Acevedo, E. (2005). *Criterios de calidad de suelo agrícola*. Ministerio de la Agricultura. Servicio agrícola y ganadero. Gobierno de Chile, pp. 205. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx>
- Agencia Europea de Medio Ambiente-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2002). *Con los pies en la Tierra: la degradación del suelo y el desarrollo sostenible en Europa. Un desafío del siglo XXI*. Copenhague, Dinamarca. [EEA-PNUMA]. Recuperado de https://www.eea.europa.eu/es/publications/Environmental_issue_series_16
- Agencia Internacional de Noticias. (2016). La Vanguardia. [EFE]. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/vida/20160110/301308261383/aprovechan-la-salmuera-delas-desaladoras-para-obtener-zumos-concentrados.html>
- Alejo, G., Salazar, F., García, D., Arrieta, B., Jiménez, V. Sánchez, A. (2012). Degradación físico-química de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas Nayarit. México. Universidad Autónoma de Nayarit. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15 (323–32). México. Recuperado de: <http://aramara.uan.mx:8080/bitstream/123456789/806/1/1391-7267-2-PB.pdf>
- Astier, M., Maass, M. y Etchevers, J. (2002). Derivación de Indicadores de Calidad de Suelos en el Contexto de la Agricultura Sustentable. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Post Graduados. Montecillos, México. pp. 605. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/151292508/Astier-et-al-2002-DERIVACION-DE-INDICADORES-DE-CALIDAD-DE-SUELOS>.
- Becerra, C., Madero, E., Herrera, O., y Amézquita, E. (2005). Caracterización espacial de la compactación en terrenos agrícolas de Centro Interamericano de Administraciones Tributarias. Colombia. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgiam y Ciencias Geográficas*. 8 (16). 33–37. Recuperado de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol8_n16/a05.pdf
- Brady, N. C., y Weil, R. R. (2002). *The nature and properties of soils*. Thirteenth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

- Brady, N. C., y Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils*. Fourteenth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.
- Budhu, M. (2007). *Soil mechanics and foundations*. 2da. ed. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA. 634 p. Recuperado de https://www.academia.edu/34235464/Budhu_SOIL_MECHANICS_AND_FOUNDATIONS_pdf
- Cantú, P., Becker, A., Schiavo, C., y Francisco, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo*. 173-178. Recuperado de http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_25n2/25_2_cantu_173_178.pdf
- Carter, R. (2002). Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy Journal*. 94:38.
- Cartes, G. (2013). *Degradación de los suelos agrícolas sustentabilidad*. Oficina de Estudios y Políticas Ararias. Gobierno de Chile. Chile. Recuperado de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/10/SueloAgricola201310.pdf>
- Castellanos, J., Uvalle, B., y Aguilar, S. (2000). Manual de interpretación de análisis de suelo y aguas. 2da ed. Editor: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. pp. 201
- Castellanos, A., Chocobar, A., Fonteyne, S., Govaerts, B., Jaspers, N., Kienle, F., Sayre, K., y Verhulst, N. (2013). *Resistencia a la penetración. Guía útil para comprar las prácticas de manejo de cultivo*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. CYMMYT. Recuperado de <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/4031/98830.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Centro Peruano de Estudios Sociales. (2015). ¿Necesitamos ampliar la frontera agrícola? *La Revista Agraria*. [CEPES]. Recuperado de http://www.larevistaagraria.org/sites/default/files/revista/LRA170/LRA170_textocomplet o.pdf
- Chen, C., Stemberger, S., Klaue, B., Blum, J., Pickhardt, C., y Fol t, L. (2000). Accumulation of heavy metals in food web components across a gradient of lakes. *Limnology and Oceanography*. 45(7): 1525-1536 p.

- Cotler, H., Sotelo, J. Domínguez., Zorrilla, M., Cortina, S., y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos. *Gaceta Ecológica*. pp. 5-71.
- Corcuera, C. E. (2016) *Análisis de la fertilidad de los suelos agrícolas destinados al cultivo de arroz en la cuenca baja del río Jequetepeque*. (Tesis maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela Posgrado, 1-136. Perú.
- De Jesus, I. (s/f). Materia orgánica y actividad biológica. Universidad Intercultural del Estado de México. Recuperado de: https://www.academia.edu/16106697/Materia_org%C3%A1nica_y_actividad_biol%C3%B3gica?email_work_card=reading-history
- De Paz, J., Sánchez, J., and Visconti, F. (2006). Combining use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical, and biological soil degradation Spanish Mediterranean region. *Journal and Environmental Management*. 150 -162. Recuperado de www.elsevier.com/locate/jenvman.
- Dexter, R. (2004). Soil physical quality. Part. Theory. Effect of soil texture. Density and organic matter and effect on root growth. *Geoderma*. 120: 201.
- Dorronsoro, C. (2002). *Propiedades físicas químicas*. Dpto. Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Recuperado de <http://edafología.ugr.es/index.html>. Drake.
- Espinosa, M., Andrade, E., Rivera, P., y Romero, A. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas. *Papeles de Geografía*: 77-88. Recuperado de: <https://revistas.um.es/geografia/article/view/143451>
- Evanylo, G. K., and McGuinn, R. (2000). *Agricultural Management Practices and Soil Quality Measuring, comparing laboratory and field tests kit indicators of soil quality attributes*. National Agricultural Centre. Stoneleigh, England.
- Fernández, J. J. (2012). *Efectos de los compost sobre las propiedades del suelo: Evaluación comparativa de compost con separación en origen y sin separación en origen*. Cartagena: (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de: [60425637.pdf \(core.ac.uk\)](http://core.ac.uk/content/document/60425637.pdf)
- Flores, D. L. y Alcalá, M. J. (2010). *Manual de procedimientos analíticos*. Laboratorio de Física de suelos. Instituto de Geología. Departamento de Edafología. UNAM. Recuperado de <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/manualLFS.pdf>

- García, E. (2018). *Desarrollo sustentable y medio ambiente*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Escuela Superior de Zimapán. Recuperado de https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/zimapan/ingenieria_en_procesamiento_de_recursos_minerales/2018/desarrollo_sustentable_y_medio_ambiente.pdf
- García, Y., Ramírez, W., y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes* Vol. 35 N° 2. Matanzas, Cuba. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001
- García, P., Lucena, J. J., Ruano, S. y Nogales, M. (2009). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*. Parte I-El suelo, los nutrientes, los fertilizantes y la fertilización. 2da ed. Editorial VA Impresores SA, Madrid,, España.
- Gestión y Conservación del Suelo. (2004). *Degradación química de los suelos*. [GCS]. Recuperado de www.eweb.unex.es > eweb > edafo >
- Gisbert, J. M. (2010). *Génesis de Suelos*. 2da. Edición. 1ra. Impresión. Editorial Universitat Politècnica de Valencia. Valencia, España. pp.13 – 21, 200 – 220.
- Gomero, O. L., y Velásquez, A. H. (1999). *Manejo Ecológico de Suelos - Conceptos, Experiencias y Técnicas*. Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos (RAAA). Lima. Recuperado de <http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/manejo-ecol-suelo-raaa.pdf>
- Gómez, M. C. (2019). *Estudio de la degradación de suelos y tierras por desertificación en la jurisdicción de la CAR*. (Tesis de Postgrado). Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. Colombia. Recuperado de <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/7798/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- González, J. C. (2019). *Materia orgánica y niveles nutricionales en el rendimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) var. La Molina 89*. (Tesis de grado). Facultad de Agronomía. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4106>
- González, O., Iglesias, C., y Herrera, M. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* Vol. 18. pp. 57-63. Habana. Cuba.

- Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., and Nelson, W. L. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to nutrient Management*. Seventh Edition. Pearson/Prentice Hall. New Jersey, USA. 528 p.
- Hazelton, P., and Murphy, B. (2007). *Interpreting soil test results: what do all the numbers mean?* 2nd ed. CSIRO PUBLISHING. NSW Government, Department of Natural Resources, University of Technology. Sydney. Australia. 160 p.
- Hernández, J. (2011). *Bio recuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos*. Departamento de Edafología. Politécnica, 1-143.
- Hernández, O. A., Ojeda, D. L., López, J. C., y Arras, A. M. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Revista Tecnociencia*. Facultad de Ciencias Agro-Tecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. Ciudad Universitaria s/n. Chihuahua. México. Recuperado de <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/719/823>
- Herrick, J., y Jones, T. (2002). A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetra on resistance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1320–1324
- Huerta, E., Rodríguez, J., Evia, I., Montejo, E., Cruz, M., y García, R. (2008). Efectos de la mejora de las propiedades del suelo en su calidad. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del suelo*. 26(2395-8030): 171-181.
- Huerta, C. H. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Querétaro y su relación en el crecimiento bacteriano*. (Tesis de grado). Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Juriquilla. México. Recuperado de <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/tesisHilda1101.pdf>
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., y Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro* 25(1316-3361): 47-56. Recuperado de: <http://www.ucla.edu.ve/bioagro/Rev25%281%29/6.%20MS%201211.pdf>

- Jordán, A. (2010). *Edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química. Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 142 p.
- Kumar, S. R., and Rao, V. B. (2012). Biological nitrogen fixation: A Review. *International Journal of Advanced Life Sciences*. Vol. (1):1-6. Recuperado de https://www.academia.edu/2230130/Biological_Nitrogen_Fixation_A_Review_
- Lal, R. (1995). *Soil erosion and land degradation: the global risks*. Adv. In Soil Sci.11:129-172. Sustainable Management of Soils Resources in the Humid Tropics. The United Nations University. Tokyo. Japan.
- La Rosa, E. (2018). *Cambios de las propiedades fisicoquímicas del suelo en las laderas del cerro Concacucho post forestación en la Universidad Peruana Unión*. (Tesis de grado). Universidad Peruana Unión. Lima. Perú.
- León, C. E. (2000). *Propiedades de los suelos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [CORPOICA]. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Bucaramanga, Colombia. Recuperado de [www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671995247_Propiedades %20de%20los%20suelos.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671995247_Propiedades%20de%20los%20suelos.pdf)
- Lichtinger, V., Szekely, F., Fernández, F., y Ríos, R. (2000). *Indicadores para la evaluación del desempeño*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. pp.55- 71. Recuperado de: [https://es.scribd.com/document/87294542/ Indicadores-para-la-Evaluacion-del-Desempeno-Ambiental](https://es.scribd.com/document/87294542/Indicadores-para-la-Evaluacion-del-Desempeno-Ambiental)
- Little, T. M. y Hills, F. J. (2002). *Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura*. Editorial Trillas. Cuarta Reimpresión. México D. F., México.
- Loayza, J. C. (2020). *Degradación de la fertilidad química y biológica del suelo por efecto del cultivo intensivo de la papa en Potreropampa, Andahuaylas, Apurímac*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú. Recuperado de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15922/Julio_C% c3% a9sar_Loayza_C% c3% a9spedes.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15922/Julio_C%c3%a9sar_Loayza_C%c3%a9spedes.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- López, A. (2016). Neutralizar la degradación de la tierra. Una aspiración global. ¿Es posible lograrlo? *Terra Latinoamericana*.34. 239- 249. México.
- López, M., y Estrada, H. (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Universidad Autónoma de Yucatán. *Bioagrobiencias*. Recuperado de

https://www.academia.edu/15103699/2015_Propiedades_f%C3%ADsicas_qu%C3%ADmicas_y_biol%C3%B3gicas_del_suelo_Bioagrociencias_8_1_3_11

- Lugo, L. J. y Rodríguez, H. L. (2018). El agrosistema: ¿objeto de estudio de la agroecología o de la agronomía ecologizada? Anotaciones para una tensión epistémica. *Revista UNAM*. Vol 6. p 14. Doi: <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2018.14.63382>
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrición mineral de plantas*. Editora Agronómica CERES Ltda. São Paulo, Brasil. 631 p.
- Martínez, R. E. (2001). Poblaciones de Rhizobia nativas de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57500003>> ISSN 0065-1737
- McFarlane, K. (2009). Plantation on management intensity affects belowground carbon and nitrogen storage in Northern California. *Soil Science Journal*. 73:1020-1032
- Mejía, C. (2019). *Estructura de un proyecto de investigación*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=mScO6ojcC8I>
- Mogollón, J. P., Martínez, A. y Rivas, W. (2014). Degradación química de suelos agrícolas en la península de Paraguaná, Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*, 44(1), 22-28. Recuperado de http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/33
- Muñoz, D. J., Ferreira, M., Escalante, I. y López, J. (2013). Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida. *Terra Latinoamericana* 31. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792013000400201&lng=es&tlng=es.
- Navarrete, A., Vela, G., López, J. y Rodríguez, L. (2011). *Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo*. Recuperado de <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf>.
- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). *Agenda de campo de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona. España.: [FAO]
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009a). *Guía para descripción de suelos*. Cuarta edición. Roma, Italia. [FAO].

- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009b). *Glosario de Agricultura Orgánica*. [FAO]. Recuperado de <https://boletinagrario.com/ap-6,resiliencia+del+suelo,5028.html>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015a). *Propiedades del suelo*. [FAO]. Recuperado de www.fao.org/soilsportal
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (2015b). *Estado Mundial del Recurso Suelo*. Resumen Técnico. Recuperado de https://es.slideshare.net/agro_pe/fao-suelo-2015
- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015c). *Estado mundial del recurso suelo*. Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia. [FAO]. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Portal de suelos de la FAO*. [FAO]: Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2017). Atlas de Suelos de América Latina y el Caribe, Suelos y medio ambiente [LAC]. *Funciones clave del suelo; Suelos salinos*. [FAO].
- Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2020). [FAO]. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/suelo>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. [FAO-PNUMA-UNESCO]. Roma, Italia.
- Ortiz, I., Fernández, E., Martín, F., y Dorronsoro, C. (2008). *Estimación de propiedades físicas del suelo en gabinete y su aplicación en la identificación de horizontes edáficos*. Recuperado de (<http://www.raco.cat/index.php/ect/article/viewfile/120987/166502>,
- Orozco, A., Valverde, M., Trelles, R., Chávez, C., y Benavides, R. (2016). Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana* 34(2395-8030): 441-456.

- Osman, K. T. (2013). *Soils: principles, properties, and management*. Dordrecht: Springer. 274 pp.
- Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas*. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Recuperado de <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- Parker, R. O. (2016). *Plant and soil science: Fundamentals and applications*. Clifton Park, Delmar Cengage Learning, NY. 480 pp.
- Plaster, E. (2005). *La Ciencia del Suelo y su Manejo*. Thompson Editores. 2da. Reimpresión. Madrid, España 419 pp.
- Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C. (2003). *Edafología Para La Agricultura y el Medio Ambiente*. 3ra. Edición. Mundi-Prensa, España, pp. 21-929.
- Pulido, M., Lobo, D. y Lozano, Z. (2009). Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agro ciencia*. 43 (3), 221-230. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952009000300001&lng=es&tlng=es
- Quiñones, E. y Dal Pozzo. F. (2008). Distribución espacial del riesgo de degradación de suelos por erosión hídrica en el Estado Lara, Venezuela. *Geoenseñanza*. 13:59-70. Recuperado de: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/28270/articulo5.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Raffino, M. E. (2020). Conductividad eléctrica. *Conceptos*. Recuperado de: <https://concepto.de/conductividad-electrica/>.
- Ramírez, H., Pedroza, A., Martínez, J. G. y Valdez, R. D. (2011). Evaluación participativa de la degradación del suelo en la Reserva de la Biosfera Mapimí. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. XVII, 2011, pp. 1-9 Universidad Autónoma Chapingo, México. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62921030009>

- Reyes, W. J. (2010). Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela. *Bioagro*, 22(1), 29-36. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612010000100004&lng=es&tlng=en.
- Ribó, M. (2004). *Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado ecológico*. (Tesis de grado). Universidad de Valencia. España. Recuperado de http://34.240.160.189/bitstream/handle/20.500.11939/6186/2003_Rib%c3%b3_Balancede.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Rodríguez, I., Crespo, G., Morales, A., y Fraga, B. (2011). Comportamiento de los indicadores biológicos del suelo en unidades lecheras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45: 187-193.
- Romero, C. M. (2014). *Estado degradación/recuperación de suelos agrícolas en el departamento Tercero Arriba (Córdoba)*. (Tesis maestría). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela para Graduados. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina. Recuperado de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1747>
- Rubiano, Y. (2005). Sistema georreferenciado de indicadores de calidad de suelos para los llanos orientales de Colombia. *Ciencia del Suelo*. Colombia. Recuperado de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/112
- Sadeghian, S., González, H., y Arias, E. (2015). Lixiviación de nutrientes en suelos de la zona cafetera Prácticas que ayudan a reducirla. *Boletín técnico Cenicafé. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia*. Colombia.
- Salgado, S., Núñez, R., Palma, D. J., y Lagunés, L. (2010). *Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos*. Colegio de Postgraduados. México, D.F. México.
- Sánchez, J., Boluda, R., Morell, C., Colomer, J., and Artiago, J. (2000). *Assessment of Soil Degradation within the EFEDA area*. In: Balabanis. Mediterranean desertification: Research Result and Policy Implications. Geoforma Editions. Logroño, Spain.
- Sánchez, M., Soriano, M., y Delgado, R. (1998). Soil quality in Mediterranean mountain environments: Effects of land use change. *Soil Science Society of America Journal*. 66: 948.

- Sánchez, P. A., Palm, Ch. A., and Buol, S. . (2003). Fertlity capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the propics. Ecosystem Sciences Division, University of California-Soil Science Departmen, North Carolina State University. Geoderma. Recuperado de .elsevier .com/locate/geoderma. Raleigh, USA.
- Santos, I. (2016). *Degradación biológica del suelo*. Recuperado de: <https://prezi.com/msary6wta9jr/degradacion-biologica-del-suelo/>
- Sawchic, J. (1979). Algunos conceptos básicos para el manejo del riego Jorge Sawchik. GRAS, Instituto Nacional de Investigación La Estanzuela., Uruguay. Recuperado de: http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/rec_nat/ conceptos.pdf
- Scherr, S. (2006). *Degradación de Suelos, Una Visión al 2020*. Documento de Trabajo N° 27. Departamento de Economía Agrícola y de Recursos Naturales, Universidad de Maryland, College Park. Maryland, USA.
- Schoeneberger, P., Wysocki, D., Benham, E., and Broderson, W. (2012). *Field Book for Describing and Sampling Soils*. Natural Resources Conservation Service, USDA. National Soil Center. Lincoln, USA.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. (2012). *Subíndice de uso sustentable del suelo – Metodología de Cálculo*. [SAGARPA]. Recuperado de http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento metodologico_suelos.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2002). *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana*. SEMARNAT-Colegio de Posgraduados. Montecillos, México. Recuperado de <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/82E1%20papel%20del%20municipio%20en%20la%20preservaci%C3%B3n,%20cuidado%20y%20uso%20del%20suelo%20en%20M%C3%A9xico>.
- Silva, C. (2004). *Adsorção competitiva de cádmio, cobre, níquel e zinco em solos*. (Teses Mestre), Área de concentrado: Solos e nutrição de plantas. Piracicaba, Estado de São Pauto, Brasil. 79 p. Recuperado de: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11112004-144415/publico/cindy.pdf>.
- Silva, C. R. (2020). *Capacidad de retención del agua disponible en suelos agrícolas de acuerdo a la textura y al contenido de materia orgánica, transecto Huaura-Mazo*.

(Tesis de grado). Facultad de Ingeniería Agraria. Universidad Católica Sedes Sapientiae. Huaura. Perú.

Singer, M. J., and Ewing, S. (2000). *Soil quality*. Handbook of Soil Science. Florida. USA. pp. 271. Recuperado de: <https://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/id/eprint/812/1/1058.pdf>.

Soil Quality Institute. (1996). *Indicators for soil quality evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service. The National Soil Survey Center/The Soil Quality Institute Research Service. USA. [SQI].

Soil Science Society of America. (2021). *Soil Basics*. [SSSA]. Recuperado de: <https://www.soils.org/about-soils/basics>

Tamhane, R. V., Motiramani, D. P., Bali, Y. P., y Donahue, R. L. (1986). *Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales*. Editorial Diana Técnico. México D.F. 483 pp.

United Nations Convention to Combat Desertification. (2013). *Desertification, a visual synthesis*. [UNCCD]. Publications. Recuperado de <http://www.unccd.int/en/resources/publication/Pages/default.aspx>

United States Department of Agriculture (2008). *Aggregate Stability. Soil Quality Indicators*. (USDA). Recuperado de http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053287.pdf

Vela, C. G., López, B. J. y Rodríguez, M. L. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. *Bioagrocencias*. Volumen 8, Número 1.

Ventocilla, J. T. (2015). *Clasificación de la Fertilidad de los Suelos del Predio “Fundo Nuevo” por el Método Capacidad-Fertilidad en Végueta, Huaura*. (Tesis de grado). Facultad de Ingeniería Agraria. Universidad Católica Sedes Sapientiae. Huaura, Perú.

TERMINOLOGÍA

Agricultura sostenible

La agricultura sostenible es el proceso productivo que debe satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras de sus productos y servicios, garantizando al mismo tiempo la rentabilidad, la salud del medio ambiente y la equidad social y económica (FAO, 2015c).

Agroecosistema

Es el concepto más importante de la agroecología, es considerada como una ciencia; la ciencia que estudia las interrelaciones eco sistémicas y culturales que se generan y con las diferentes actividades agrícolas en variadas escalas de complejidad (Lugo y Rodríguez, 2018).

Base intercambiable

Cación, excluyendo el hidrógeno y el aluminio, retenidos en un lugar de intercambio de cationes, que pueden ser fácilmente reemplazados por otro catión. Se les considera disponibles para la nutrición de las plantas (Plaster, 2005).

Ciclos biogeoquímicos

Son parte esencial para la vida en tierra, tanto para plantas como para los animales, sin esto no fuese posible la interacción y la vida dentro de los ecosistemas (García, 2018).

Evaluación del suelo

En el contexto de evaluación de tierras la evaluación de suelos se centra en la combinación de requisitos específicos del uso de la tierra con las propiedades del suelo. La mayor parte de las evaluaciones de suelos se han efectuado para manejo agrícola y sistemas de cultivo. No obstante, los mismos principios se podrían aplicar para otros fines de manejo de tierras (FAO, 2020).

Horizontes

Representan capas o estratos que muestran evidencia de cambio y algunos estratos que no han cambiado. La mayoría son horizontes de suelo genéticos, que reflejan una valoración cualitativa acerca del tipo de cambios que han sucedido (FAO, 2009b).

In situ

Es una expresión latina que significa “en el sitio” o “en el lugar”, y que es generalmente utilizada para designar un fenómeno observado en el lugar o una manipulación realizada en el mismo campo como es el caso de la descripción morfológica del suelo (Salgado *et al.*, 2010).

Lixiviación

Es un fenómeno natural, de ocurrencia en cualquier ecosistema, su magnitud cambia de acuerdo a la cantidad de lluvia, las propiedades del suelo y el manejo del cultivo. Por ello, y conscientes de sus implicaciones económicas y ambientales, se proponen estrategias de mitigación a través de prácticas agronómicas (Sadeghian *et al.*, 2015).

Perfil

Es una sección vertical a través del suelo. Comúnmente es concebido como un plano en ángulo recto a la superficie. En la práctica, una descripción de un perfil de suelo incluye algunas propiedades del suelo que pueden ser determinados sólo por inspección de volúmenes de suelo (Havlin *et al.*, 2005).

Resiliencia del suelo

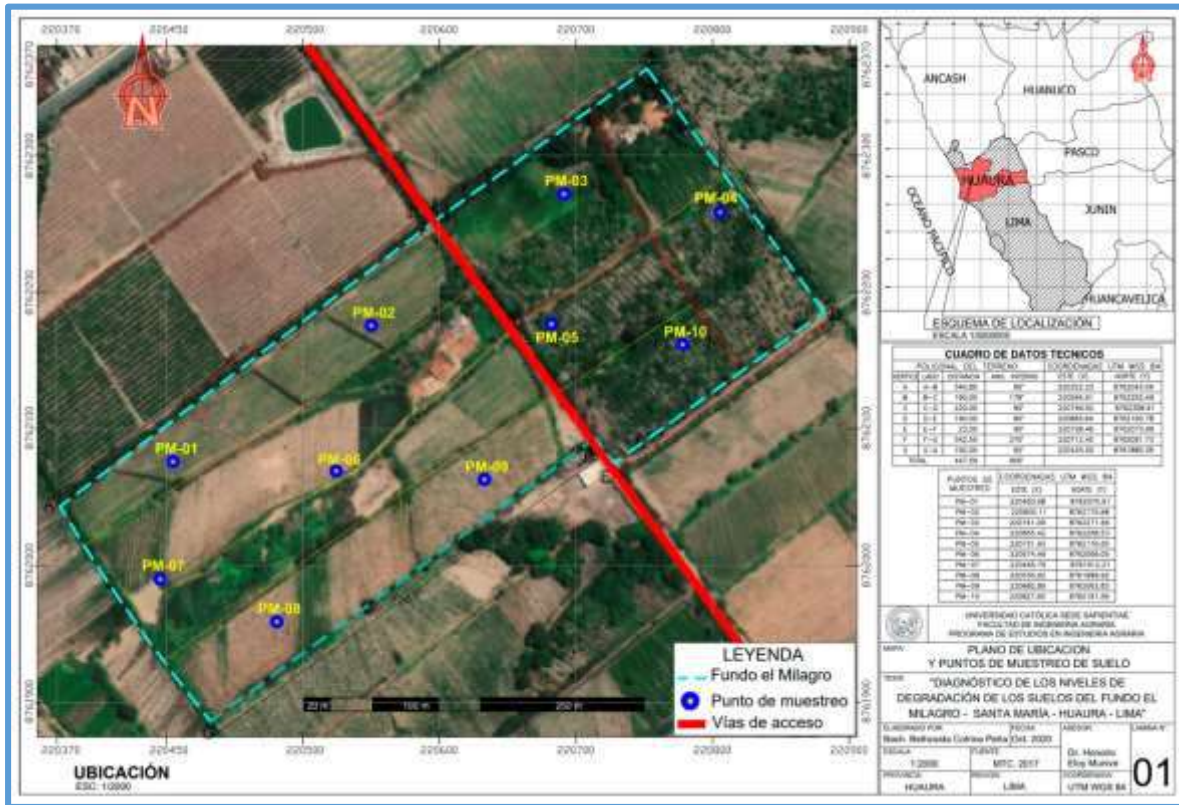
La resiliencia del suelo es un concepto importante para entender la capacidad de los suelos para recuperarse de la degradación, refleja el tiempo necesario para que se recupere tras una perturbación, un factor importante en la estabilidad del suministro de alimentos (FAO, 2009b).

Sostenibilidad

Es la administración exitosa de los recursos para que la agricultura satisfaga las cambiantes necesidades humanas, sin dejar de mantener y mejorar la calidad del medio ambiente y conservar los recursos naturales para beneficio de las futuras generaciones (Salgado *et al.*, 2010).


APÉNDICES

Apéndice 1. Mapa y puntos de muestreo del fundo “El Milagro”




Fuente: Google Earth (2021).

Apéndice 2. Resultados del análisis de los suelos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION



Solicitante : FUNDO EL MILAGRO

Departamento : LIMA

Distrito : SANTA MARÍA

Referencia : H.R. 63246-043C-18

Bolt : 1471


Provincia : HUIAURA

Predio :

Fecha : 04/05/18

| Lab | Numero de Muestra Claves | pH (1:1) | C.E. (1:1) dSm | CaCO ₃ % | M.O. % | P ppm | K ppm | Análisis Mecánico | | | Clase Textural | CIC | Cationes Cambiables | | | | | Suma de Cationes | Suma de Bases | % Sat. De Bases |
|------|-----------------------------|-------------|----------------------|------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|------|---------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| | | | | | | | | Arena % | Limo % | Arcilla % | | | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Al ³⁺ + H ⁺ | | | |
| 4250 | Calicata 01 | 8.75 | 0.50 | 2.90 | 1.08 | 5.6 | 175 | 91 | 5 | 4 | A | 4.80 | 2.92 | 0.76 | 0.42 | 0.70 | 0.00 | 4.80 | 4.80 | 100 |
| 4251 | Calicata 02 | 9.00 | 0.40 | 2.10 | 0.98 | 4.8 | 153 | 90 | 6 | 4 | A | 4.48 | 2.62 | 0.88 | 0.36 | 0.62 | 0.00 | 4.48 | 4.48 | 100 |
| 4252 | Calicata 03 | 8.64 | 0.57 | 1.20 | 0.94 | 4.3 | 128 | 92 | 5 | 3 | A | 5.28 | 3.09 | 1.10 | 0.48 | 0.61 | 0.00 | 5.28 | 5.28 | 100 |
| 4253 | Calicata 04 | 9.13 | 0.51 | 1.50 | 0.94 | 6.1 | 183 | 92 | 5 | 3 | A | 6.08 | 3.77 | 1.07 | 0.67 | 0.57 | 0.00 | 6.08 | 6.08 | 100 |
| 4254 | Calicata 05 | 8.62 | 0.47 | 1.70 | 1.00 | 6.4 | 174 | 91 | 5 | 4 | A | 5.04 | 2.81 | 1.08 | 0.55 | 0.60 | 0.00 | 7.04 | 7.04 | 100 |
| 4255 | Calicata 06 | 9.01 | 0.45 | 1.50 | 0.90 | 4.4 | 184 | 92 | 5 | 3 | A | 5.28 | 3.33 | 1.02 | 0.39 | 0.54 | 0.00 | 5.28 | 5.28 | 100 |
| 4256 | Calicata 07 | 8.01 | 0.61 | 1.90 | 0.92 | 5.2 | 164 | 91 | 6 | 3 | A | 5.44 | 3.21 | 1.17 | 0.52 | 0.54 | 0.00 | 5.43 | 5.43 | 100 |
| 4257 | Calicata 08 | 8.91 | 0.52 | 2.00 | 0.86 | 2.8 | 151 | 91 | 6 | 3 | A | 4.48 | 2.39 | 1.23 | 0.33 | 0.53 | 0.00 | 4.09 | 4.09 | 100 |
| 4258 | Calicata 09 | 8.43 | 0.46 | 2.70 | 1.10 | 5.8 | 154 | 84 | 7 | 9 | A.Fr | 7.04 | 4.58 | 1.37 | 0.49 | 0.60 | 0.00 | 7.04 | 7.04 | 100 |
| 4259 | Calicata 10 | 8.85 | 0.38 | 2.10 | 0.92 | 2.1 | 164 | 90 | 6 | 4 | A | 5.44 | 3.55 | 0.97 | 0.41 | 0.51 | 0.00 | 5.44 | 5.44 | 100 |

A = Arena ; A.Fr = Arena Franca ; Fr.A = Franco Arenoso ; Fr = Franco ; Fr.L = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A = Arcillo Arenoso ; Ar.L = Arcillo Limoso ; Ar = Arcilloso



Dr. Sedy García Bendejé
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf. 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Apéndice 3. Tablas para la interpretación de análisis de los suelos en estudio

Textura

| a) Clase textural | b) Tipo de textura |
|---|----------------------|
| Arena, arena franca | Gruesa |
| Franco arenosa | Moderadamente gruesa |
| Franca, franco limoso, limosa | Media |
| Franco arcillosa, franco arcillo arenosa, franco arcillo limosa, arcillo arenosa, arcillo limosa, arcilla | Fina |
| Mayor de 60% de arcilla | Muy fina |

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

Reacción del suelo (pH)

| Rango de pH | Definiciones |
|-------------|------------------------|
| < 3,50 | Ultra ácido |
| 3,51 a 4,40 | Extremadamente ácido |
| 4,41 a 5,00 | Muy fuertemente ácido |
| 5,01 a 5,50 | Fuertemente ácido |
| 5,51 a 6,00 | Moderadamente ácido |
| 6,01 – 6,50 | Ligeramente ácido |
| 6,51 – 7,40 | Neutro |
| 7,41 – 7,80 | Ligeramente básico |
| 7,81 – 8,40 | Moderadamente básico |
| 8,41 – 9,00 | Fuertemente básico |
| > 9,0 | Muy fuertemente básico |

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

Conductividad eléctrica

| Rango de salinidad | Definición (dS.m ⁻¹) |
|--------------------|----------------------------------|
| < de 2 | Sin problemas de salinidad |
| 2 – 4 | Ligeros problemas de sales |
| 4 – 8 | Medio |
| 8 – 16 | Severos problemas |
| > 16 | Muy severos problemas |

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

Materia orgánica

| Definición | % | g.kg ⁻¹ |
|------------|--------|--------------------|
| Bajo | < de 2 | < de 20 |
| Medio | 2 – 4 | 20 – 40 |
| Alto | > de 4 | > de 40 |

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

Calcáreo total

| Definición | Rango de calcáreo total (%) |
|------------|-----------------------------------|
| Bajo | < de 1 |
| Medio | 1 – 5 |
| Alto | 5 – 15 (precipita al P) |
| Muy alto | > de 15 (tóxico para las plantas) |

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

Fósforo disponible

| Definición | Rango de P (ppm o mg.kg ⁻¹) |
|------------|---|
| Bajo | 0 – 7 |
| Medio | 7 – 14 |
| Alto | > de 14 |

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

Potasio disponible

| Definición | ppm o mg.kg ⁻¹ | kg.ha ⁻¹ |
|------------|---------------------------|---------------------|
| Bajo | < 100 | < 250 |
| Medio | 100 – 200 | 250 – 500 |
| Alto | > 200 | > 500 |
| Muy alto | | |

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

Capacidad de intercambio catiónico (me/100 g o cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹)

| Definición | Rango de CIC (cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹) |
|--------------------|---|
| Muy baja | < de 4 |
| Baja | 4 – 8 |
| Moderadamente baja | 8 – 12 |
| Moderadamente alta | 12 – 20 |
| Muy alta | > de 20 |

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

Porcentaje de saturación de bases

| Definición | Rango de % SB |
|------------|---------------|
| Baja | < de 35 |
| Media | 35 - 80 |
| Alta | > de 80 |

Fuente: Schoeneberger *et al.* (2012).

Relaciones catiónicas

| Relación | Niveles | Interpretación |
|---------------------------------|---------|---|
| $\text{Ca}^{*2}/\text{Mg}^{+2}$ | < 2 | Posibles deficiencias de Ca^{++} |
| | 2 – 4 | Ideal |
| | > 10 | Posibles deficiencias de Mg^{++} |
| $\text{Ca}^{+2}/\text{K}^*$ | < 2,0 | Posibles deficiencias de Ca^{++} |
| | 3 – 30 | Ideal |
| | > 30 | Posibles deficiencias de K^+ |
| $\text{Mg}^{+2}/\text{K}^+$ | < 1,0 | Posibles deficiencias de Mg^{++} |
| | 2 – 18 | Ideal |
| | > 18 | Posibles deficiencias de K^+ |

Fuente: Schoeneberger *et al*, (2012).

Apéndice 4. Fichas de descripción de perfiles de fondo “El Milagro”

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

Nº de calicata: CA-01 Serie: El MILAGRO
 Asociación: — Clasificación técnica: A3_s fco
 Clasificación natural: APOVAL Clasificación taxonómica: ARIDISOLS
 Material madre: ARENISCA Precipitación Temperatura
 Fisiografía: TERRAZA MEDIA Vegetación o Cultivo: MARACUYA
 Relieve: LIGERAMENTE ONDULADO Permeabilidad: MODERADAMENTE RAPIDA
 Altitud: Drenaje: BIEN DRENADO
 Pendiente: 5% LIGERAMENTE INCLINADO Escorrentia superficial: MODERADAMENTE LENTA
 Erosión: MODERADAMENTE LENTA Napa Freática: PROFUNDA
 Distribución de raíces: SUPERFICIAL Humedad: HUMEDO
 Salinidad: NO SALINO Porosidad: BUENA
 Pedregosidad/Gravosidad: 13% MEDIANA Alcalinidad: SIN PROBLEMAS

b) Descripción del perfil:

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Text. | Mod. Text | Estruc. | Consistencia | | | pH | CO ₂ | Limite |
|------|------------|-------|-----|--------|-----------|---------|--------------|---|---|--------|-----------------|--------|
| | | H | S | | | | H | S | M | | | |
| AP | 0-20 | 5YR | 4/2 | GRUESA | GRAVA | BSF | FRIABLE | | | BASICO | +++ | DIFUSO |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

c) Observaciones

.....
 5YR 4/2 = GRIS ROSADO OSCURO

 Foto Nº UTM:

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

Nº de calicata: CA-02 Serie: EL MILAGRO

Asociación: — Clasificación técnica: A3₂ Fe₁₂

Clasificación natural: AZOVAL Clasificación taxonómica: ARIDISOLS

Material madre: ARENISCA Precipitación Temperatura.....

Fisiografía: TERRAZA MEDIA Vegetación o Cultivo: PAITO

Relieve: ONDULADO Permeabilidad: MODERADAMENTE RAPIDA

Altitud: Drenaje: BIEN DRENADO

Pendiente: 5% MODERADAMENTE INCLINADO Escorrentia superficial: MODERADAMENTE LENTA

Erosión: MODERADAMENTE LENTA Napa Freática: PROFUNDA

Distribución de raíces: SUPERFICIAL Humedad: HUMEDO

Salinidad: NO SALINO Porosidad: BUENA

Pedregosidad/Gravosidad: 15% MEDIANA Alcalinidad: SIN PROBLEMAS

b) Descripción del perfil:

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Text. | Mod. Text | Estruc. | Consistencia | | | pH | CO ₂ | Limite |
|------|------------|-------|-----|--------|-----------|---------|--------------|---|---|--------|-----------------|--------|
| | | (H) | S | | | | (H) | S | M | | | |
| AP | 0-20 | 5YR | 4/2 | GRUESA | GRAVA | BSE | FRAGILE | | | Basico | +++ | DIFUSO |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

c) Observaciones

.....

5YR 4/2 = GRIS ROJIZO OSCURO

.....

.....

.....

Foto Nº UTM:

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

N° de calicata: CA-03 Serie: El MILAGRO
 Asociación: — Clasificación técnica: A3s Fe2
 Clasificación natural: AZONAL Clasificación taxonómica: ARIDISOLS
 Material madre: ARENUSCA Precipitación: Temperatura
 Fisiografía: TERRAZA MEDIA Vegetación o Cultivo: PALTO, LUCUMA
 Relieve: ONDULADO Permeabilidad: MODERADAMENTE RAPIDA
 Altitud: Drenaje: BIEN DRENADO
 Pendiente: 4% MODERADAMENTE INCLINADO Escorrentía superficial: MODERADAMENTE LENTA
 Erosión: MODERADAMENTE LENTA Napa Freática: PROFUNDA
 Distribución de raíces: SUPERFICIAL Humedad: HUMEDO
 Salinidad: NO SALINO Porosidad: BUENA
 Pedregosidad/Gravosidad: 12% MEDIANA Alcalinidad: SIN PROBLEMAS

b) Descripción del perfil:

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Text. | Mod. Text | Estruc. | Consistencia | | | pH | CO ₂ | Limite |
|------|------------|-------|-----|--------|-----------|---------|--------------|---|---|--------|-----------------|--------|
| | | H | S | | | | H | S | M | | | |
| AP | 0-20 | 5YR | 3/2 | GRUESA | GRAVA | BSF | FRIABLE | | | BASICO | +++ | DISUSO |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

c) Observaciones

SYR. 3/2 = MARRON ROJIZO OSCURO

Foto N° UTM:

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

Nº de calicata: CA-04 Serie: El MILAGRO
 Asociación: — Clasificación técnica: A3₃ fco
 Clasificación natural: AZONAL Clasificación taxonómica: ARIDISOLS
 Material madre: ARENISCA Precipitación Temperatura.....
 Fisiografía: TERRAZA Vegetación o Cultivo: PALTO, NARANJA
 Relieve: ONDULADO Permeabilidad: MODERADAMENTE RAPIDA
 Altitud: Drenaje: BIEN DRENADO
 Pendiente: 10% LIGERAMENTE INCLINADO Escorrentía superficial: MODERADAMENTE RAPIDA
 Erosión: MODERADAMENTE RAPIDA Napa Freática: PROFUNDA
 Distribución de raíces: SUPERFICIAL Humedad: HUMEDO
 Salinidad: NO SALINO Porosidad: BUENA
 Pedregosidad/Gravosidad: 4% LIGERA Alcalinidad: SIN PROBLEMAS

b) Descripción del perfil:

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Text. | Mod. Text | Estruc. | Consistencia | | | pH | CO ₂ | Limite |
|------|------------|-------|-----|--------|-----------|---------|--------------|---|---|-------|-----------------|--------|
| | | H | S | | | | H | S | M | | | |
| AP | 0-30 | 5YR | 3/2 | GRUESA | GRAVA | BSE | FRIABLE | | | Basio | ++ | DIFUSO |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

c) Observaciones

.....
 5YR 3/2 = MARRON ROJIZO OSCURO

 Foto Nº UTM:

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

Nº de calicata: CA-03 Serie: EL MILAGRO

Asociación: Clasificación técnica: A3₅f_{cl3}

Clasificación natural: AZONAL Clasificación taxonómica: ARIDISOLS

Material madre: ARENISCA Precipitación Temperatura

Fisiografía: TERRAZA MEDIA Vegetación o Cultivo: PALTO, NARANJA

Relieve: ONDULADO Permeabilidad: MODERADAMENTE RAPIDA

Altitud: Drenaje: BIEN DRENADO

Pendiente: 9% LIGERAMENTE INCLINADO Escorrentia superficial: MODERADAMENTE RAPIDA

Erosión: MODERADAMENTE RAPIDA Napa Freática: PROFUNDA

Distribución de raíces: SUPERFICIAL Humedad: HUMEDO

Salinidad: NO SALINO Porosidad: BUENA

Pedregosidad/Gravosidad: 5% LIGERA Alcalinidad: SIN PROBLEMAS

b) Descripción del perfil:

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Text. | Mod. Text | Estruc. | Consistencia | | | pH | CO ₂ | Limite |
|------|------------|--------|-----|--------|-----------|---------|--------------|---|---|-------|-----------------|---------|
| | | (H) | S | | | | (H) | S | M | | | |
| AP | 0-30 | 7.5 YR | 3/3 | GRUESA | GRAVA | BSF | FRIABLE | | | BUENA | +++ | DIFFUSO |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

c) Observaciones

.....
 7.5 YR 3/3 = MARRÓN OSCURO

 Foto N° UTM:

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

N° de calicata: CA-06 Serie: EL MILAGRO
 Asociación: — Clasificación técnica: A3₁ f₁₂
 Clasificación natural: AZONAL Clasificación taxonómica: ARIDISOLS
 Material madre: ARENISCA Precipitación Temperatura.....
 Fisiografía: TERRAZA MEDIA Vegetación o Cultivo: YUCA, NARANJA, PALTO
 Relieve: ONDULADO Permeabilidad: MODERADAMENTE RAPIDA
 Altitud: Drenaje: BIEN DRENADO
 Pendiente: 10% LIGERAMENTE INCLINADO Escorrentia superficial: MODERADAMENTE RAPIDA
 Erosión: MODERADAMENTE RAPIDA Napa Freática: PROFUNDA
 Distribución de raíces: SUPERFICIAL Humedad: HUMEDO
 Salinidad: NO SALINO Porosidad: BUENA
 Pedregosidad/Gravosidad: 5% LIGERA Alcalinidad: SIN PROBLEMAS

b) Descripción del perfil:

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Text. | Mod. Text | Estruc. | Consistencia | | | pH | CO ₃ | Limite |
|------|------------|-------|-------|--------|-----------|---------|--------------|---|---|--------|-----------------|---------|
| | | (H) | S | | | | (H) | S | M | | | |
| AP | 0-30 | 7.5YR | 2.5/3 | GRUESA | GRAVA | BSE | FRIABLE | | | BASICO | +++ | DIFFUSO |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

c) Observaciones

.....
 7.5 YR 2.5/3 = MARRON OSCURO

Foto N° UTM:

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

Nº de calicata: CA-07 Serie: El MILAGRO
 Asociación: — Clasificación técnica: A3₂ f(1)
 Clasificación natural: ARONAL Clasificación taxonómica: ARIDISOLS
 Material madre: ARENISCA Precipitación Temperatura.....
 Fisiografía: TERRAZA MEDIA Vegetación o Cultivo: PALTO, NARANJA
 Relieve: ONDULADO Permeabilidad MODERADAMENTE RÁPIDA
 Altitud: Drenaje: BIEN DRENADO
 Pendiente: 5% MODERADAMENTE INCLINADO Escorrentía superficial MODERADAMENTE LENTA
 Erosión: MODERADAMENTE LENTA Napa Freática: PROFUNDA
 Distribución de raíces: SUPERFICIAL Humedad: HUMEDO
 Salinidad: NO SALINO Porosidad: BUENA
 Pedregosidad/Gravosidad: 11% MEDIA Alcalinidad: SIN PROBLEMAS

b) Descripción del perfil:

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Text. | Mod. Text | Estruc. | Consistencia | | | pH | CO ₂ | Limite |
|------|------------|--------|-----|--------|-----------|---------|--------------|---|---|--------|-----------------|---------|
| | | H | S | | | | H | S | M | | | |
| AP | 0-20 | 7.5 YR | 3/3 | GRUESA | GRAVA | BSE | FRAGILE | | | BÁSICO | +++ | DIFFUSO |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

c) Observaciones

.....
 7.5 YR 3/3 = MARRÓN OSCURO

 Foto Nº UTM:

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

Nº de calicata: CA-08 Serie: El MILAGRO
 Asociación: — Clasificación técnica: A3s (r)
 Clasificación natural: AFONAL Clasificación taxonómica: ARIDISOLS
 Material madre: ARENISCA Precipitación Temperatura.....
 Fisiografía: TERRAZA Vegetación o Cultivo: MARAUYA
 Relieve: ONDULADO Permeabilidad: MODERADAMENTE RAPIDA
 Altitud: Drenaje: BIEN DRENADO
 Pendiente: 6% MODERADAMENTE INCLINADO Escorrentia superficial: MODERADAMENTE LENTA
 Erosión: MODERADAMENTE LENTA Napa Freática: PROFUNDA
 Distribución de raíces: SUPERFICIAL Humedad: HUMEDO
 Salinidad: NO SALINO Porosidad: BUENA
 Pedregosidad/Gravosidad: 11% MEDIA Alcalinidad: SIN PROBLEMAS

b) Descripción del perfil:

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Text. | Mod. Text | Estruc. | Consistencia | | | pH | CO ₂ | Limite |
|------|------------|-------|-----|-------|-----------|---------|--------------|---|---|------|-----------------|--------|
| | | H | S | | | | H | S | M | | | |
| AP | 0-20 | 7.5YR | 4/2 | GRUEA | GRAVA | BSF | FRABIE | | | 8.20 | +++ | DFUSO |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

c) Observaciones

.....
 7.5 YR 4/2 = MARRON

Foto Nº UTM:

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

N° de calicata: CA-09 Serie: EL MILAGRO
 Asociación: — Clasificación técnica: A3s fcs
 Clasificación natural: A3ONAL Clasificación taxonómica: ARIDISOLS
 Material madre: ARENISCAS Precipitación Temperatura.....
 Fisiografía: TERRAZA MEDIA Vegetación o Cultivo: MARAÑUYA
 Relieve: ONDULADO Permeabilidad: MODERADAMENTE RAPIDA
 Altitud: Drenaje: BIEN DRENADO
 Pendiente: 12% LIGERAMENTE INCLINADO Escorrentía superficial: MODERADAMENTE RAPIDA
 Erosión: MODERADAMENTE RAPIDA Napa Freática: PROFUNDA
 Distribución de raíces: SUPERFICIAL Humedad: HUMEDO
 Salinidad: NO SALINO Porosidad: BUENA
 Pedregosidad/Gravosidad: 4% LIGERA Alcalinidad: SIN PROBLEMAS

b) Descripción del perfil:

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Text. | Mod. Text | Estruc. | Consistencia | | | pH | CO ₃ | Limite |
|------|------------|-------|-----|--------|-----------|---------|--------------|---|---|---------|-----------------|--------|
| | | H | S | | | | H | S | M | | | |
| A.P | 0-30 | 10YR | 3/2 | GRUESA | GRAVA | BSF | FRIABLE | | | 6.5-6.8 | +++ | DIFUSO |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

c) Observaciones

10YR 3/2 = MARRÓN GRISACEO MUY OSCURO

Foto N° UTM:

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE PERFILES DE SUELOS

a) Características generales:

Nº de calicata: CA-10 Serie: El MILAGRO
 Asociación: — Clasificación técnica: A3₃ fr
 Clasificación natural: AZONAL Clasificación taxonómica: ARIDISOLS
 Material madre: ARENISCAS Precipitación Temperatura.....
 Fisiografía: TERRAZA MEDIA Vegetación o Cultivo: RYE GRASS
 Relieve: ONDULADO Permeabilidad: MODERADAMENTE RÁPIDA
 Altitud: Drenaje: BIEN DRENADO
 Pendiente: 9% LIGERAMENTE INCLINADO Escorrentía superficial: MODERADAMENTE RÁPIDA
 Erosión: MODERADAMENTE RÁPIDA Napa Freática: PROFUNDA
 Distribución de raíces: SUPERFICIAL Humedad: HUMEDO
 Salinidad: NO SALINO Porosidad: BUENA
 Pedregosidad/Gravosidad: 4% LIGERA Alcalinidad: SIN PROBLEMAS

b) Descripción del perfil:

| Hor. | Prof. (cm) | Color | | Text. | Mod. Text | Estruc. | Consistencia | | | pH | CO ₂ | Limite |
|------|------------|-------|-----|--------|-----------|---------|--------------|---|---|-------|-----------------|--------|
| | | H | S | | | | H | S | M | | | |
| A.P | 0-30 | 10YR | 3/3 | GRUESA | GRAVA | BSF | FRIABLE | | | Banco | +++ | DISUSO |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

c) Observaciones

.....
 10YR 3/3 = MARRÓN OSCURO

Foto Nº UTM:

Apéndice 5. Fotografías de las calicatas estudiadas en el fundo “El Milagro”



Fotografía 1. Calicata CA-01



Fotografía 2. Calicata CA-02



Fotografía 3. Calicata CA-03



Fotografía 4. Calicata CA-04



Fotografía 5. Calicata Ca-05



Fotografía 6. Calicata CA-06



Fotografía 7. Calicata CA-07



Fotografía 8. Calicata CA.08



Fotografía 9. Calicata CA-09



Fotografía 10. Calicata CA-10

Apéndice 6. Correlaciones entre los parámetros utilizados y la degradación física, química y biológica de los suelos del fundo “El Milagro”

1. Análisis de regresión entre IE e IDF

| F.V. | SC | GL | CM | F | p-valor |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| IDF | 3,9911 | 1 | 3,9911 | 22,4705 | 0,0015 |
| Error | 1,4209 | 8 | 0,1776 | | |
| Total | 5,4120 | 9 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

2. Análisis de correlación entre IE e IDF

| Variables | r_c | r tablas | | Significación | r² |
|------------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------|----------------------|
| | | 0,05 | 0,01 | | |
| X = IE | 0,8587 | 0,632 | 0,765 | ** | 0,7375 |
| Y = IDF | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

3. Análisis de regresión entre EE e IDF

| F.V. | SC | GL | CM | F | p-valor |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| IDF | 0,7227 | 1 | 0,7227 | 0,5913 | 0,4640 |
| Error | 9,7773 | 8 | 1,2222 | | |
| Total | 10,5000 | 9 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

4. Análisis de correlación entre EE e IDF

| Variables | r_c | r tablas | | Significación | r² |
|------------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------|----------------------|
| | | 0,05 | 0,01 | | |
| X = EE | 0,2623 | 0,632 | 0,765 | ns | 0,0688 |
| Y = IDF | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

5. Análisis de regresión entre CC e IDF

| F.V. | SC | GL | CM | F | p-valor |
|-------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|
| IDF | 0,00009 | 1 | 0,00009 | 13,8029 | 0,0059 |
| Error | 0,00005 | 8 | 0,00001 | | |
| Total | 0,00015 | 9 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Análisis de correlación entre CC e IDF

| Variables | r _c | r tablas | | Significación | r ² |
|-------------------|----------------|----------|-------|---------------|----------------|
| | | 0,05 | 0,01 | | |
| X = CC Y = IDF | 0,7957 | 0,632 | 0,765 | ** | 0,6331 |

Fuente: Elaboración propia.

7. Análisis de regresión entre PMP e IDF

| F.V. | SC | GL | CM | F | p-valor |
|-------|---------|----|---------|---------|---------|
| IDF | 0,00001 | 1 | 0,00001 | 0,60391 | 0,4595 |
| Error | 0,00019 | 8 | 0,00002 | | |
| Total | 0,00021 | 9 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

8. Análisis de correlación entre PMP e IDF

| Variables | r _c | r tablas | | Significación | r ² |
|--------------------|----------------|----------|-------|---------------|----------------|
| | | 0,05 | 0,01 | | |
| X = PMP Y = IDF | 0,2649 | 0,632 | 0,765 | ns | 0,07019 |

Fuente: Elaboración propia.

9. Análisis de regresión entre sales e IDQ

| F.V. | SC | GL | CM | F | p-valor |
|-------|--------|----|--------|--------|---------|
| IDF | 0,0003 | 1 | 0,0003 | 1,6833 | 0,2307 |
| Error | 0,0012 | 8 | 0,0002 | | |
| Total | 0,0015 | 9 | | | |

10. Análisis de correlación entre Sales e IDQ

| Variables | r _c | r tablas | | Significación | r ² |
|----------------------|----------------|----------|-------|---------------|----------------|
| | | 0,05 | 0,01 | | |
| X = Sales Y = IDQ | 0,4169 | 0,632 | 0,765 | | 0,1738 |

Fuente: Elaboración propia.

11. Análisis de regresión entre Na⁺ e IDQ

| F.V. | SC | GL | CM | F | p-valor |
|-------|--------|----|--------|--------|---------|
| IDF | 0,0070 | 1 | 0,0070 | 2,6094 | 0,1449 |
| Error | 0,0214 | 8 | 0,0027 | | |
| Total | 0,0284 | 9 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Análisis de correlación entre Na⁺ e IDQ

| Variables | r _c | r tablas | | Significación | r ² |
|-------------------|----------------|----------|-------|---------------|----------------|
| | | 0,05 | 0,01 | | |
| X = Na Y = IDQ | 0,4959 | 0,632 | 0,765 | NS | 0,2459 |

Fuente: Elaboración propia.

13. Análisis de regresión entre CIC e IDQ

| F.V. | SC | GL | CM | F | p-valor |
|-------|--------|----|--------|--------|---------|
| IDF | 0,1593 | 1 | 0,1593 | 0,2467 | 0,6327 |
| Error | 5,1661 | 8 | 0,6458 | | |
| Total | 5,3254 | 9 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

14. Análisis de correlación entre CIC e IDQ

| Variables | r _c | r tablas | | Significación | r ² |
|--------------------|----------------|----------|-------|---------------|----------------|
| | | 0,05 | 0,01 | | |
| X = CIC Y = IDQ | 0,1729 | 0,632 | 0,765 | NS | 0,0299 |

Fuente: Elaboración propia.

15. Análisis de regresión entre MO e IDB

| F.V. | SC | GL | CM | F | p-valor |
|-------|--------|----|--------|--------|---------|
| IDF | 0,0033 | 1 | 0,0033 | 0,5216 | 0,4907 |
| Error | 0,0502 | 8 | 0,0063 | | |
| Total | 0,0534 | 9 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

16. Análisis de correlación entre MO e IDB

| Variables | r _c | r tablas | | Significación | r ² |
|-------------------|----------------|----------|-------|---------------|----------------|
| | | 0,05 | 0,01 | | |
| X = MO Y = IDB | 0,2474 | 0,632 | 0,765 | NS | 0,0612 |

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 7. Fotografías del trabajo de campo y toma de muestras



Fotografía 1: Ubicación del punto de muestreo en el mapa base



Fotografía 2. Explicación del asesor sobre el relleno de las fichas



Fotografía 3. Identificando el punto de muestreo



Fotografía 4. Embolsado e identificación de muestras



Fotografía 5. Toma de datos referentes al perfil en estudio



Fotografía 6. Toma y embolsado de muestras