



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**SEDE ORELLANA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO AGRÍCOLA DE LA  
COMUNIDAD GARCÍA MORENO, CANTÓN FRANCISCO DE  
ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo: Proyecto Técnico**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORA:**

**CARILYN ADAMARI CORREA CUENCA**

El Coca - Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**SEDE ORELLANA**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO AGRÍCOLA DE LA  
COMUNIDAD GARCÍA MORENO, CANTÓN FRANCISCO DE  
ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo: Proyecto Técnico**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORA: CARILYN ADAMARI CORREA CUENCA**

**DIRECTOR: Ing. JULIO ROLANDO COELLO CABEZAS MSc.**

El Coca - Ecuador

2023

**©2023, Carilyn Adamari Correa Cuenca**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, CARILYN ADAMARI CORREA CUENCA declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 24 de marzo del 2023

A handwritten signature in purple ink, appearing to read 'Carilyn Correa Cuenca', with a horizontal line underneath.

---

**Carilyn Adamari Correa Cuenca**

**220045693-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE ORELLANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, Tipo: Proyecto Técnico, **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD AGRÍCOLA DEL SUELO DE LA COMUNIDAD GARCÍA MORENO, CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA**, realizado por la señorita: **CARILYN ADAMARI CORREA CUENCA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Leonardo Daniel Cabezas Andrade MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2023-03-24
Ing. Julio Rolando Coello Cabezas MSc. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-03-24
Ing. Greys Carolina Herrera Morales Mgtr. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2023-03-24

## **DEDICATORIA**

A mis amados padres Gorki Correa y Marlene Cuenca., que son mi motor y mayor inspiración, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía. Gracias por enseñarme a ser honesta y leal, a los principios que me enseñaron desde niña. Gracias infinitamente por haberme enseñado en la vida a luchar y entender que la educación y el amor de familia es la herencia más grande que me pudieron dar. A mis seres queridos A.C, C.V, E.C, A.C, D.S, R.S, J.L y amistades L.M y M, por enseñarme aprovechar cada oportunidad que se ha presentado en mi vida, por siempre estar pendiente de mi crecimiento personal y profesional. Gracias por apoyarme cuando más los necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día. A Dios por siempre ser mi guía y luz en todas las etapas de mi vida.

Carilyn

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer primeramente a Dios por darme la sabiduría para siempre seguir adelante pese a los obstáculos que se han presentado en el camino. A mis padres quienes estuvieron a mi lado en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio, que gracias a sus buenos valores me ayudan a trazar mi camino. De igual manera a mi familia más cercana y amistades por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por permitirme ser parte de tan prestigiosa institución y darme la oportunidad de obtener una profesión. Finalmente agradezco a mi director y miembro de tesis, que gracias a sus consejos y correcciones hoy puedo culminar este trabajo. Al Ing. Ercin Preciado por guiarme y compartir sus conocimientos durante mi proyecto de titulación.

Carilyn

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Planteamiento del problema.....	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	6
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	6

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Referencias teóricas.....	9
2.2.1. <i>Geología</i> .....	9
2.2.2. <i>Los suelos</i> .....	10
2.2.3. <i>Suelos de la parroquia García Moreno</i> .....	10
2.2.3.1. <i>Cobertura vegetal y uso del suelo</i> .....	11
2.2.3.2. <i>Cambios de uso de suelo</i> .....	12
2.2.4. <i>Tipos de suelos</i> .....	13
2.2.5. <i>Composición del suelo</i> .....	14
2.2.6. <i>Capacidad de uso de la tierra</i> .....	14
2.2.7. <i>Manejo del suelo</i> .....	15
2.2.8. <i>Degradación del suelo</i> .....	15

2.2.8.1.	<i>Tipos de degradación del suelo</i> .....	17
2.2.9.	<b><i>Biodiversidad del suelo</i></b> .....	17
2.2.9.1.	<i>Funciones de los organismos en el suelo</i> .....	18
2.2.10.	<b><i>Propiedades del suelo</i></b> .....	18
2.2.10.1.	<i>Propiedades físicas</i> .....	18
2.2.10.2.	<i>Propiedades químicas</i> .....	21
2.2.11.	<b><i>Calidad del suelo</i></b> .....	24
2.2.9.1.	<i>Indicadores de la calidad del suelo</i> .....	24
2.2.9.2.	<i>Indicadores físicos</i> .....	24
2.2.9.3.	<i>Indicadores químicos</i> .....	25
2.2.9.4.	<i>Indicadores biológicos</i> .....	25
2.2.12.	<b><i>Rango y categorías para el análisis de los parámetros</i></b> .....	26
2.2.12.1.	<i>Indicadores físicos</i> .....	26
2.2.12.2.	<i>Indicadores químicos</i> .....	29
2.2.13.	<b><i>Calidad ambiental del recurso suelo de acuerdo a los criterios del TULSMA</i></b> .....	31

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	33
3.1.	<b>Diseño de la investigación</b> .....	33
3.2.	<b>Ubicación del sitio de estudio</b> .....	33
3.2.1.	<i>Ubicación</i> .....	33
3.3.	<b>Identificación y selección de puntos de muestreo</b> .....	34
3.4.	<b>Selección de indicadores</b> .....	36
3.5.	<b>Muestreo</b> .....	37
3.5.1.	<i>Análisis en campo</i> .....	40
3.5.1.1.	<i>Determinación de la estructura</i> .....	40
3.5.2.	<i>Análisis de laboratorio</i> .....	41
3.5.2.1.	<i>Determinación de color</i> .....	41
3.5.2.2.	<i>Determinación de la humedad</i> .....	41
3.5.2.3.	<i>Determinación de metales pesados</i> .....	41
3.6.	<b>Integración cuantitativa de los indicadores de la calidad del suelo de ocho fincas de la comunidad García Moreno</b> .....	42

### CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS</b> .....	44
----	-------------------------	----

<b>4.1.</b>	<b>Resultados de la caracterización físico-química de los suelos</b> .....	44
<b>4.1.1.</b>	<b>Resultados de indicadores físicos</b> .....	44
<b>4.1.1.1.</b>	<i>Estructura</i> .....	44
<b>4.1.1.2.</b>	<i>Textura</i> .....	45
<b>4.1.1.3.</b>	<i>Humedad</i> .....	46
<b>4.1.1.4.</b>	<i>Color</i> .....	47
<b>4.1.2.</b>	<b>Resultados de indicadores químicos</b> .....	48
<b>4.1.2.1.</b>	<i>Potencial de hidrógeno, pH</i> .....	48
<b>4.1.2.2.</b>	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	49
<b>4.1.2.3.</b>	<i>Capacidad de intercambio catiónico (CIC)</i> .....	50
<b>4.1.2.4.</b>	<i>Materia orgánica</i> .....	50
<b>4.1.2.5.</b>	<i>Macronutrientes</i> .....	50
<b>4.1.2.6.</b>	<i>Micronutrientes</i> .....	52
<b>4.1.2.7.</b>	<i>Metales pesados</i> .....	54
<b>4.1.3.</b>	<b>Resultados de la integración cuantitativa de los indicadores de la calidad del suelo de ocho fincas de la comunidad García Moreno</b> .....	56
<b>4.2.</b>	<b>Propuesta de restauración del suelo</b> .....	60
<b>4.2.1.</b>	<i>Introducción</i> .....	60
<b>4.2.2.</b>	<i>Objetivo</i> .....	60
<b>4.2.3.</b>	<i>Resultados esperados</i> .....	61
<b>4.2.4.</b>	<i>Definiciones</i> .....	61
<b>4.2.5.</b>	<i>Identificación de problemáticas</i> .....	62
<b>4.2.6.</b>	<i>Metodología</i> .....	65
<b>4.2.7.</b>	<i>Presupuesto estimado</i> .....	72
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	73
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	74
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Superficie según tipo de cobertura natural y uso de suelo.....	12
<b>Tabla 2-2:</b>	Capacidad de uso de la tierra (CUT) .....	15
<b>Tabla 3-2:</b>	Tamaño de los poros del suelo .....	21
<b>Tabla 4-2:</b>	Indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad del suelo .....	25
<b>Tabla 5-2:</b>	Clases texturales de acuerdo a forma y aglomeraciones del suelo .....	26
<b>Tabla 6-2:</b>	Clases texturales del suelo.....	27
<b>Tabla 7-2:</b>	Umrales típicos de agua del suelo para diferentes texturas de suelo .....	27
<b>Tabla 8-2:</b>	Tipo de suelo de acuerdo al contenido de agua. ....	28
<b>Tabla 9-2:</b>	Categorización del suelo de acuerdo a su rango de pH .....	29
<b>Tabla 10-2:</b>	Categorización de salinidad del suelo de acuerdo a la conductividad eléctrica ....	29
<b>Tabla 11-2:</b>	Categorización de la capacidad de intercambio catiónico .....	30
<b>Tabla 12-2:</b>	Rangos de las concentraciones de macronutrientes del suelo .....	30
<b>Tabla 13-2:</b>	Límites críticos de las concentraciones de micronutrientes del suelo .....	30
<b>Tabla 14-2:</b>	Clasificación del suelo según el contenido de materia orgánica .....	31
<b>Tabla 15-2:</b>	Límites críticos de las concentraciones de metales pesados en suelo agrícola.....	31
<b>Tabla 16-2:</b>	Criterios de calidad para remediación de suelos de uso agrícola de acuerdo al TULSMA.....	32
<b>Tabla 1-3:</b>	Límites de la parroquia García Moreno.....	33
<b>Tabla 2-3:</b>	Parámetros y metodologías usadas para el análisis de calidad del suelo.....	37
<b>Tabla 3-3:</b>	Codificación de las muestras .....	38
<b>Tabla 4-3:</b>	Materiales, herramientas y reactivos .....	42
<b>Tabla 5-3:</b>	Criterios y fórmulas para normalización de indicadores de calidad de suelo.....	42
<b>Tabla 6-3:</b>	Índice de la calidad del suelo.....	43
<b>Tabla 1-4:</b>	Estructura del suelo de ocho fincas de la comunidad García Moreno de acuerdo al tipo, clase y grado de agregación.....	44
<b>Tabla 2-4:</b>	Clases texturales de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla.....	46
<b>Tabla 3-4:</b>	Datos de laboratorio para el cálculo de humedad.....	46
<b>Tabla 4-4:</b>	Resultados del color del suelo de acuerdo al sistema de Munsell .....	47
<b>Tabla 5-4:</b>	Resultados de pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica. ....	48
<b>Tabla 6-4:</b>	Resultados de las concentraciones de $\text{NH}_4^+$ , P y K.....	51
<b>Tabla 7-4:</b>	Resultados de las concentraciones de Cu, Fe, Mn y Zn.....	53
<b>Tabla 8-4:</b>	Resultados de las concentraciones de metales pesados .....	54
<b>Tabla 9-4:</b>	Cálculo de los índices lineales para calidad del suelo de ocho fincas .....	58

<b>Tabla 10-4:</b> Interpretación de los índices de calidad de suelo .....	59
<b>Tabla 11-4:</b> Categorización y puntuación de los criterios de selección de las acciones de manejo o remediación .....	62
<b>Tabla 12-4:</b> Identificación de problemática de acuerdo a indicadores de suelo.....	63
<b>Tabla 13-4:</b> Resumen de las problemáticas identificadas en suelos de las ocho fincas de la comunidad García Moreno .....	64
<b>Tabla 14-4:</b> Criterios de selección de acciones de mejora o remediación de suelo .....	66
<b>Tabla 15-4:</b> Acciones de implementación para la mejora y manejo de suelos de calidad muy baja a moderada en ocho fincas de la comunidad García Moreno .....	68
<b>Tabla 16-4:</b> Acciones de implementación para la mejora y manejo de suelos de calidad muy baja a moderada en ocho fincas de la comunidad García Moreno .....	71
<b>Tabla 17-4:</b> Estimación de costos para la adecuación de suelos agrícolas.....	72

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b> Árbol de problemas.....	4
<b>Ilustración 1-2:</b> Degradación del suelo según aspectos físicos, químicos y biológicos .....	16
<b>Ilustración 2-2:</b> Especies que contiene un suelo sano .....	18
<b>Ilustración 3-2:</b> Clasificación de la textura del suelo .....	19
<b>Ilustración 4-2:</b> Tipos de estructuras del suelo .....	20
<b>Ilustración 5-2:</b> Escala del pH .....	21
<b>Ilustración 6-2:</b> Tabla de Munsell correspondientes al matiz 10 YR (Yellow-Red) .....	28
<b>Ilustración 1-3:</b> Mapa de localización parroquial .....	34
<b>Ilustración 2-3:</b> Localización de la comunidad García Moreno .....	34
<b>Ilustración 3-3:</b> Recursos naturales y amenaza antropogénicas en la parroquia de García Moreno .....	35
<b>Ilustración 4-3:</b> Localización de los las fincas de muestreo .....	35
<b>Ilustración 1-4:</b> Resultados del contenido de humedad en ocho fincas de la cabecera cantonal de García Moreno.....	47
<b>Ilustración 2-4:</b> Valores de pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica .....	49
<b>Ilustración 3-4:</b> Resultados de los niveles de macronutrientes (N, P, K) de las ocho fincas de la cabecera cantonal de García Moreno .....	51
<b>Ilustración 4-4:</b> Resultados de los niveles de micronutrientes (N, P, K) de las ocho fincas de la cabecera parroquial de García Moreno .....	53
<b>Ilustración 5-4:</b> Resultados de los niveles de los metales pesados presentes en suelos de ocho fincas de la cabecera parroquial de García Moreno .....	55
<b>Ilustración 6-4:</b> Movilización natural de metales pesados .....	55

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** DESARROLLO DE FASE DE CAMPO O RECOLECCIÓN DE MUESTRAS
- ANEXO B.** DESARROLLO DE LA FASE DE LABORATORIO
- ANEXO C.** RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS SUELOS F1 Y F2, REALIZADOS EN INIAP
- ANEXO D.** RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS SUELOS F3 Y F4, REALIZADOS EN INIAP
- ANEXO E.** RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS SUELOS F5 Y F6, REALIZADOS EN INIAP
- ANEXO F.** RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS SUELOS F7 Y F8, REALIZADOS EN INIAP
- ANEXO G.** CURVAS DE CALIBRACIÓN DE METALES PESADOS: MERCURIO (HG), PLOMO (PD) Y CADMIO (CD).
- ANEXO H.** CURVAS DE CALIBRACIÓN DE METALES PESADOS: ARSÉNICO (AS), CROMO (CR) Y COBALTO (CO).
- ANEXO I.** RESULTADOS DE HUMEDAD, COLOR Y METALES PESADOS DEL LABORATORIO DE ESPOCH CORRESPONDIENTES A LAS FINCAS F1, F2, F3 Y F4.
- ANEXO J.** RESULTADOS DE HUMEDAD, COLOR Y METALES PESADOS DEL LABORATORIO DE ESPOCH CORRESPONDIENTES A LAS FINCAS F5, F6, F7 Y F8.

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>PDyOT:</b>	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
<b>GADMFO:</b>	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana
<b>CUT:</b>	Capacidad de uso de la tierra
<b>USDA :</b>	United States Department of Agriculture
<b>TULSMA:</b>	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente.
<b>INIAP:</b>	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
<b>Fn:</b>	Finca número $n$ ; $n=1 \dots 8$
<b>Ph:</b>	Potencial de hidrógeno
<b>CE:</b>	Conductividad eléctrica
<b>CIC:</b>	Capacidad de intercambio catiónico
<b>MO:</b>	Materia orgánica
<b>Lmax:</b>	Máximo del indicador
<b>Lmin:</b>	Mínimo del indicador
<b>Vn:</b>	Valor normalizado

## RESUMEN

La comunidad García Moreno ha mantenido como principal actividad económica la agricultura, entre sus cultivos primordiales destacan: café, cacao, maíz y plátano; de modo que, su producción es destinada para la venta y consumo familiar. Sin embargo, el crecimiento demográfico y agropecuaria, el tipo de suelo y la actividad petrolera ha ocasionado fuertes restricciones para desarrollo. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del suelo agrícola mediante análisis físico-químico en la comunidad García Moreno, cantón Francisco de Orellana; para mejorar la productividad de los cultivos de la zona. La metodología implementada tuvo un enfoque cualitativo, se usó los 7 indicadores establecidos dentro del Conjunto Mínimo de Datos (MDS), 5 de los cuales se evaluaron mediante el cálculo de un índice; y a su vez, se escogieron 4 parámetros adicionales (Color, humedad, micronutrientes y metales pesados), ya que también ejercen restricciones en el rendimiento de los cultivos. En base al cálculo del índice de calidad, se determinó que los suelos de las fincas F2 (0.3), F3 (0.3), F4 (0.3) tienen una baja calidad; F1 (0,4), F6(0.4), F7(0.5) y F8 (0,4) moderada calidad; y F5 (0.7) una calidad alta. Sin embargo, si a esto se añade la presencia de niveles tóxicos de metales pesados y micronutrientes como el Hierro y Manganeso, se disminuye la calidad ambiental del mismo. En este contexto se concluyó que, según la categorización de calidad de suelo usada en este trabajo, las ocho fincas muestreadas no son aptas para uso agrícola, por lo que, se elaboró una propuesta de restauración agrícola para mejorar la calidad del suelo con fines agro productivos.

**Palabras clave:** <CALIDAD DE SUELO>, <FISICO QUIMICO>, <AGRICULTURA>, <RESTAURACIÓN>, <METALES PESADOS>.



0738-DBRA-UTP-2023

## **ABSTRACT**

The present research as main economic activity in the community García Moreno has been agriculture, including coffee, cacao, corn, and bananas, which are grown for sale and family consumption. However, population and agricultural growth, the type of soil and oil activity have caused severe restrictions for development. Therefore, the objective of this study was to evaluate the quality of agricultural soil through physical-chemical analysis in the community García Moreno, canton Francisco de Orellana. In order to improve the productivity of crops in the area. The methodology implemented had a qualitative approach, using the 7 indicators established within the Minimum Data Set (MDS), 5 of which were evaluated by calculating an index; and in turn, 4 additional parameters were chosen (color, moisture, micronutrients, and heavy metals), since they also exert restrictions on crop yields. Based on the calculation of quality index, it was determined that the soils of farms F2 (0.3), F3 (0.3), F4 (0.3) have low quality; F1 (0.4), F6(0.4), F7(0.5) and F8 (0.4) moderate quality; and F5 (0.7) high quality. However, if to this is added the presence of toxic levels of heavy metals and micronutrients such as iron and manganese, the environmental quality is reduced. In this context, it was concluded that, according to the categorization of soil quality used in this work, the eight farms sampled are not suitable for agricultural use, therefore, a proposal for agricultural restoration was developed to improve soil quality for agro-productive purposes.

**Keywords :** <SOIL QUALITY>, <PHYSICAL AND CHEMICAL>, <AGRICULTURE>, <RESTORATION>, <HEAVY METALS>.

**Translated by:**



---

Lic. Zoila Victoria Herrera Andrade Mgs.  
**DOCENTE-SEDE ORELLANA ESPOCH**

## INTRODUCCIÓN

Los suelos son un recurso fundamental para el desarrollo de la vida porque participan en la regulación y prestación de servicios ecosistémicos (Rojas, 2009, pp.1-5). Siendo la base del sistema agroalimentario al proveer cerca del 95% de los alimentos que son consumidos (FAO y PNUMA, 2022: p.11). El suelo posee componentes minerales y orgánicos esenciales para el crecimiento y supervivencia de todos los organismos del planeta, desde microorganismos hasta plantas y seres humanos. En el grupo de macronutrientes se encuentran al fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), nitrógeno (N) y carbono (C); y, en el grupo de micronutrientes están el sodio (Na), boro (Bo), molibdeno (Mo), zinc (Zn), níquel (Ni) y manganeso (Mn) (Montaño et al., 2018: p.4). Los nutrientes no se encuentran estáticos dentro de los ecosistemas, sino que, se mueven desde el entorno a los organismos vivos y viceversa, formando ciclos conocidos como biogeoquímicos (Abbona y Sarandón, 2014: pp. 210-213).

Hay que señalar que sólo el 12 % de la superficie de la tierra es fácilmente cultivable, debido a que persisten diversos obstáculos, como la sequía por falta de lluvia, bajas temperaturas, suelos salinos, suelos deficientes en nutrientes y minerales, terrenos cubiertos de nieve o con pendiente muy acentuada (FAO, 1996, p.187). Además, existen actividades antropogénicas que degradan la calidad del suelo, incluyendo la conversión de bosques y pastizales en tierras agrícolas, que ocasionan la reducción de la materia orgánica del suelo y alteración de la distribución y estabilidad de los agregados (Ross, 1993, pp. 265-305). Esta situación se evidencia con mayor intensidad en países en vías de desarrollo, donde se da el uso excesivo o inadecuado de fertilizantes que provocan la desertificación del suelo y problemas ambientales (Pereira et al., 2011: p.16).

Por lo tanto, la evaluación de la calidad del suelo agrícola resulta ser indispensable para poder conocer si un sistema productivo sigue siendo sustentable al corto o largo plazo. Este conocimiento permitirá comprender y revertir de ser el caso, el deterioro que puede estarse dando en la funcionalidad del sistema que se produce a causa de la degradación del suelo. En este contexto resulta fundamental cuantificar el nivel de afectación a la calidad del suelo con el fin de proponer, plantear y desarrollar planes, estrategias o proyectos adecuados para satisfacer las necesidades crecientes de la población a nivel mundial. De esta forma es posible contribuir a mejorar y diversificar la productividad agrícola, ganadera o forestal, sin que esto perjudique a los recursos naturales en general (Vallejo, 2013, pp.86-87).

Atendiendo a las necesidades planteadas dentro del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020 (PDyOT) de la parroquia García Moreno, con respecto al componente económico-productivo, la presente investigación pretende evaluar la calidad del suelo agrícola en la comunidad García Moreno (cabecera parroquial) mediante análisis físico químico. La información generada será de vital importancia para los propietarios de las fincas a estudiar, ya que se conocerá el tipo de cultivos que mejor se adapten a los suelos de la zona, así como también

los nutrientes que requieren. Todo ello con la finalidad de mejorar la calidad del suelo y la productividad agrícola, mejorando también las condiciones económico-sociales los agricultores y de la comunidad.

Este trabajo se enfocó en la problemática sobre la calidad del suelo en la comunidad García Moreno para uso agrícola y en cómo se pretende aportar en su solución. Por ello, se abordaron conceptos teóricos con respecto al uso del suelo, tipos, aspectos físico-químicos y biológicos. Posteriormente se realizó el muestreo y la evaluación de cuatro parámetros físicos (textura, estructura, humedad, y color) y siete parámetros químicos (pH, conductividad eléctrica, CIC, macro y micronutrientes, metales pesados, materia orgánica) sobre la calidad del suelo. De tal forma, se obtuvieron índices para establecer la calidad del suelo de cada finca y las medidas que se pueden adoptar para su uso agrícola

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

Ecuador es uno de los países donde el principal limitante de la productividad de cultivos agrícolas es la baja fertilidad de los suelos (Bejarano y Portch, 1974: p.2). El 30% de la superficie del país se encuentra cubierta por suelos evolucionados y la superficie restante es menos apta para la producción agrícola. Puesto que los suelos no son homogéneos en todas las regiones con respecto a sus características físico-químicas y su uso (FLACSO et al., 2008: pp.2-3). Y, pese a lo mencionado, en la actualidad el crecimiento demográfico ha provocado una expansión de la agricultura de forma intensiva y agresiva, lo que conlleva a una creciente demanda de productos agrícolas así como a la degradación del suelo (Hidalgo, 2017, pp.15-18).

La provincia de Orellana, se encuentra en la región amazónica entre la cordillera Oriental y la llanura amazónica, con altitudes que varían desde los 100 msnm hasta los 3.900 msnm en la zona oeste, donde se encuentra el Volcán Sumaco que marca el límite de Orellana con la provincia de Napo. En la provincia se pueden diferenciar tres grandes paisajes: la Cordillera Oriental, la Zona Subandina y la Cuenca Amazónica.

En el cantón Francisco de Orellana prevalecen los suelos de textura arcillosa, caracterizados por la coloración rojiza, baja absorción de agua, carencia de nutrientes, contenido tóxico de aluminio y alta tendencia a la compactación. El estudio de suelo efectuado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana (GADMFO), muestra que, la superficie del territorio cantonal está compuesta en muchos de los casos por una mezcla de dos o más clases de suelo. La clase taxonómica Typic y/o Oxíc Dystrudepts (suelos rojos) es la mayoritaria, con 285 743.88 ha que representa el 40.5% del territorio cantonal. Encontrándose principalmente en las parroquias: El Dorado, Dayuma, García Moreno, Inés Arango, La Belleza, Taracoa y Alejandro Labaka (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana, 2014, p.39).

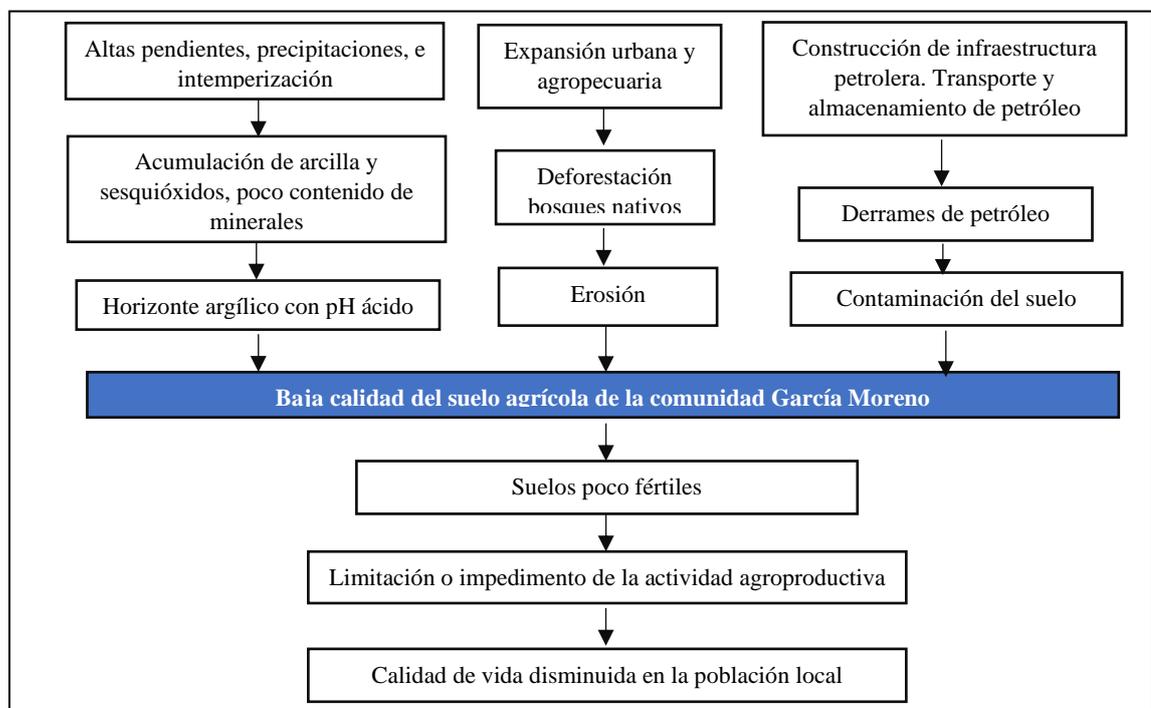
Ahora bien, la parroquia García Moreno alberga 10 comunidades, entre las cuales se encuentra el territorio de estudio, la comunidad García Moreno. Esta comunidad se ubica en la región noroccidental de la parroquia, al borde del río Napo. Donde el 28.5% del suelo que compone la parroquia, es de tipo Ultisol-Humults, representando 3 754.67 ha de la superficie total; con alta intemperización, bajo porcentaje de minerales, requiere grandes cantidades de materia orgánica, entre otras limitaciones que restringen ampliamente la actividad agroproductiva (Consultor, 2020, p.46).

De acuerdo a los registros cartográficos de cobertura vegetal y uso de suelo reportados por SIGTERRAS, el territorio de la parroquia de García Moreno está ocupado predominantemente

por bosque nativo (69.88%), seguido de grandes parcelas de pastizales (22.11%) y pequeños segmentos de cultivos (1%) (Consultor, 2020, p.48). Sin embargo, dentro de la comunidad García Moreno, la principal actividad económica es la agricultura, de acuerdo a información proporcionada por los finqueros de la zona, quienes destacan que entre los cultivos más representativos del lugar están: el cacao, café, maíz y plátano.

## 1.2. Planteamiento del problema

El cambio de uso de suelo es una problemática ambiental, que se ha venido gestando durante años, ya sea por actividades naturales como antropogénicas. Dentro de la Parroquia García Moreno, las causas más comunes que inducen a este problema es el crecimiento demográfico, la construcción de infraestructuras petroleras y, por último, pero no menos importante, el tipo de suelo. Hay que considerar que, a nivel cantonal y en el sector predominan los suelos con texturas arcillosas, convirtiéndolo en una textura pesada y pegajosa cuando está húmedo y muy dura cuando está seco. Debido a que, estos retienen mucha humedad suceden procesos de oxidación por lo que su coloración es amarilla o rojiza, el suelo en sí es impermeable, con alta capacidad de retención de agua; sin embargo, en la agricultura presenta un desafío, puesto que, debido al pobre drenaje, requiere grandes cantidades de materia orgánica, presencia de sesquióxidos de hierro y aluminio, además del bajo contenido de minerales (Ilustración 1-1).



**Ilustración 1-1:** Árbol de problemas

**Realizador por:** Correa, Carilyn, 2022.

### **1.3. Justificación**

En la década de los 70s se promovió la colonización de la región amazónica y con ello el cambio de uso de suelo. En consecuencia, se expandieron las fronteras pecuaria y agrícola (Brassel et al., 2008: pp.12-15). En Ecuador, el volumen de producción agrícola proveniente de la región amazónica se encuentra entre el 5 al 7% de la producción nacional. Donde los cultivos de café, plátano y yuca son los que se concentran en la amazonia, conformando el 85% del total de la producción agrícola regional (James et al., 1994: pp.13-14).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la actividad agrícola en la Amazonía se ve afectada en gran parte por la alteración y contaminación del suelo derivada de la deforestación, los derrames de petróleo y la utilización de productos químicos en los cultivos (Bravo, 2007, pp.25-35). De manera análoga, esto sucede en la Parroquia García Moreno, puesto que se ha producido un deterioro de este recurso afectando su productividad. Además, se suman otros factores como: el crecimiento demográfico, la construcción de infraestructuras industriales y, por último, pero no menos importante, el tipo de suelo.

De acuerdo con el PDyOT de García Moreno (2020), el 84% del territorio parroquial presenta limitaciones muy fuertes para desarrollar actividades agropecuarias. Aunque pese a ello, se cultiva cacao, café, maíz y caña de azúcar; en gran parte para comercialización. Cabe señalar que la producción por comunidad es distinta (Consultor, 2020, p.90). En el caso de la comunidad García Moreno existen cultivos como el maní, el plátano, el noni, la piña, el palmito, el arroz, borojó, guayaba, el aguacate, guaba, limón, achotillo, entre otros. Estos cultivos son destinados en su mayoría para consumo familiar; y cultivados en pequeñas parcelas o huertos cercanos a las viviendas.

En este sentido, las limitaciones de suelo serían una problemática que afecta en gran medida no solo a la comunidad García Moreno, sino a la parroquia en general. La agricultura es una de las principales fuentes de ingreso de su población, en especial para los pequeños y medianos productores. Motivo por el cual se planea evaluar la calidad del suelo agrícola de la comunidad García Moreno mediante su caracterización físico química, con la finalidad de identificar el estado actual del suelo y proponer acciones para mejorar su calidad.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

- Evaluar la calidad del suelo agrícola mediante análisis físico-químico en la comunidad García Moreno del cantón Francisco de Orellana para proponer acciones que ayuden a mejorar la productividad de los cultivos.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Determinar las características físico-químicas del suelo de la zona de estudio para conocer su aptitud para la agricultura.
- Analizar los resultados obtenidos de la calidad del suelo para sus diferentes usos y tipos de cobertura vegetal.
- Realizar una propuesta para la restauración del suelo agrícola dentro de la zona de estudio

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Como expresan (Flores et al., 2020; Moreira et al., 2009), los suelos tropicales americanos húmedos son de forma generalizada erosionados y se encuentran lixiviados. De allí que, en los ecosistemas de esta región aproximadamente el 85% de los nutrientes se encuentran en las plantas y los animales, pero inconvenientemente los suelos en sí, son infértiles. Tienen alto contenido de arcilla, bajo contenido de nutrientes y frecuentemente son bastante ácidos. Por lo tanto, los principales retos que presenta el manejo de este tipo de suelo son: mejorar su textura, aumentar el contenido de minerales y nutrientes, reducir la acidez del suelo, enriquecer la vida microbiana y aumentar la cantidad de materia orgánica contenida.

Vignola et al., (2010: pp.1-2) apuntan que, añadidos los impactos del cambio climático con la expansión de las precipitaciones extremas, en los trópicos se hace necesario la toma de decisiones para la gestión del suelo a corto plazo. Especialmente en tierras cultivadas en áreas con pendientes pronunciadas donde el suelo desnudo está expuesto a lluvias extremas. De tal forma que, los agricultores podrían realizar diferentes esfuerzos (cercas eléctricas, pastos mejorados, agricultura de contorno, etc.) para combatir la erosión del suelo e inclusive conservar el agua. Aunque, para esto es necesario estudios que detallen las características del mismo.

En este orden diversos estudios sobre la calidad de suelo han sido llevados a cabo en la región. Moura et al., (2009: pp.1-2) señalan que, en suelos amazónicos (Brasil), la longitud de la raíz y la absorción de nutrientes pueden verse gravemente limitado. Siendo muy difícil separar funciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

Así, Becher et al., (1997: p.3) y Aguiar et al., (2010: p.4) realizaron estudios en suelos tropicales donde sugieren que al aplicar los residuos vegetales o mixtos en la superficie del suelo se pueden mejorar la calidad. En cambio, Moura et al., (2009: pp.2-3) estudiaron la aplicación superficial simultánea de residuos vegetales de baja y alta calidad para mantener la productividad de los suelos frágiles en la zona tropical húmeda. En su estudio enfatizan en que todavía hacen falta indicadores sensibles a la variación en la gestión del suelo, que son necesarios para comparar los efectos de distintas metodologías a lo largo del tiempo. Además, encontraron que la condición de la capa superior se ve mejorada significativamente al aumentar el volumen de suelo para el crecimiento de las raíces con una mayor retención de agua asociada durante el cultivo de maíz y leguminosas. Con respecto a lo mencionado anteriormente, Mukhtamar et al., (2016: p.1) realizaron experimentos en invernadero para suelos de trópicos húmedos, de los tipos Andepts, Udepts y Udults. Esos autores evaluaron diferentes tasas de compost de jacinto de agua, en cultivos de maíz y observaron

una mejora significativa, donde las tasas más altas de aplicación de compost contribuyeron a un mayor aumento en carbono total, biomasa de carbono microbiano, pH del suelo, P disponible y K intercambiable. Aquí, el suelo tipo Udults tuvo un aumento más pronunciado en el pH del suelo y una disminución de Al intercambiable que otros suelos.

En el caso de México, Rangel et al., (2017: pp.5-9), han llevado a cabo estudios en cuanto a Índice Robusto de la Calidad (SQI) para suelos tropicales influenciados por actividades agrícolas. Los autores realizaron análisis estadísticos multiparamétricos sobre el pH, materia orgánica, sodio, calcio, hierro, zinc, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica. Y se evaluó la robustez del SQI mediante simulaciones realizadas con optimización numérica mediante el método simplex. Esta investigación robustece el conocimiento de la calidad del suelo, pues juega un papel vital en el sector agrícola dada su importancia y la escasa información científica al respecto.

A nivel de la región Amazónica, en las décadas anteriores, Virginio et al., (2014: pp. 26-28) informo que los suelos amazónicos son pobres en nutrientes, correspondiendo a Inceptisoles, con baja fertilidad, alta acidez, presencia de aluminio y deficiencia de fósforo, calcio y potasio. Martín y Pérez, (2009: p.2) en un estudio realizado en la provincia de Pastaza ha indicado que también los suelos de esta región poseen problemas físicos, con estructuras no definidas y alta saturación de humedad, que provoca acumulación de materia orgánica de baja calidad. Lo interesante de todo ello es que a pesar de que esta región exhibe exuberante vegetación forestal, se asume que los suelos son fértiles y aptos para agricultura. Aunque Flores et al., (2020: p.3) de forma contraria, se caracterizan por su bajo contenido nutricional debido a las altas temperaturas, precipitaciones, historia geológica de la región, meteorización intensa y lixiviación.

Burgos (2016, p.28-35) le da otro enfoque al estudio del suelo amazónico al comparar el contenido de nutrientes en suelos con distinto uso: pastizales, cultivos y bosque, en la misma provincia. Este investigador encontró diferencia en la composición de fosfatos, nitratos, calcio y magnesio, en dependencia del uso que se le daba a ese suelo. Los resultados mostraron que, el contenido de fosfatos (PO) en el suelo de un bosque fue mayor que en suelos de pastizal; en el nitrato (NO) sucedió lo contrario, con más cantidad en suelos cubiertos de pasto y menos contenido en suelos de bosque. En cuanto al calcio y magnesio, hubo mayores contenidos en suelos cubiertos por cultivos en contraste con suelos que poseen pastos.

García y Schlatter, (2012: pp.2-3), realizaron estudios puntuales en tierras altas de la Sierra y tierras bajas de la región Litoral a lo largo de un gradiente altitudinal, ya que, en el Ecuador la calidad y cantidad de datos sobre suelos es restringida. Ellos indican que esta información es muy requerida para la toma de decisiones en los procesos de producción forestal y agrícola. Los hallazgos encontrados fueron que los suelos de la Región Sierra son más arenosos, menos evolucionados, con mayores reservas minerales, pero son más ácidos que los del Litoral. Los autores explican que dichas características se producen debido a la presencia de materia orgánica que presentan,

como resultado del clima frío, y una menor presencia de bases, con un mayor nivel de aluminio de intercambio.

Por otra parte, González et al., (2019: pp.1-2) ha realizado un estudio de calidad de suelo amazónico (Pastaza) de cultivos de caña de azúcar, encontrando suelos ácidos con bajos parámetros nutricionales, que el autor explica por un deterioro progresivo del suelo como consecuencia de mala práctica agrícola con predominancia de monocultivos y tecnologías agrícolas deficientes.

Con todo lo mencionado anteriormente, en los manuales de agroforestería sostenible, propuestos por Virginio et al., (2014: pp.9-12), ya se señala que en los suelos de distintas provincias amazónicas hay baja fertilidad y características físico-químicas no favorables para la agricultura. Sin embargo, también hacen énfasis en que las actividades agrícolas deben enfocarse a través del manejo integral del suelo, mediante acciones que impliquen la regeneración de horizontes orgánicos, reciclajes de nutrientes para cultivos de subsistencia, con uso forestal controlado que permita la protección de reservas ecológicas y de vida silvestre. Incluso a nivel de Amazonia tropical brasileña, se ha registrado que este tipo de suelos de ambientes lluviosos tropicales poseen esa firma geoquímica muy característica que los hace poco aptos para la actividad agrícola a gran escala, recalcando que siempre puede caber el uso de agricultura de subsistencia como ya se ha mencionado antes.

## **2.2. Referencias teóricas**

### **2.2.1. Geología**

La geología es la ciencia que estudia los materiales, estructura y procesos relativos a los cambios internos y superficiales del planeta Tierra, como terremotos, volcanes, montañas, océanos, suelos, paisaje, erosión, depósitos, entre otros. Y, también se ocupa del origen del planeta y de los cambios que ha ido sufriendo a lo largo de toda su historia (Junta de Andalucía, 2019, pp.2-3). A tal efecto y de acuerdo Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana, (2014, p.34), la geología de la Región Amazónica está conformado por rocas, sedimentos marinos y continentales de diferentes orígenes; siendo las rocas más antiguas los gneises y granulitos. También se han identificado diferentes unidades geológicas caracterizadas por su material parental o regolita y relieve.

Para el cantón Francisco de Orellana, en la parte occidental emergen materiales volcánicos y volcano-sedimentarios de la edad Cretácica, relacionados con el levantamiento de la Cordillera de Los Andes. Mientras que, en la zona centro-oeste, se han encontrado materiales de tipo arcilloso, arenoso y conglomerados. En el sector centro se encuentran los materiales de depósitos aluviales como arcillas, lutitas y arenas, que presentan relieves planos de llanura.

De acuerdo con el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana (2014, p.34-35) la parroquia García Moreno se encuentra asentada sobre las siguientes formaciones geológicas:

*Formación Arajuno:* Está compuesta por arcillas, areniscas, lignito, se encuentra entre los 500-1000 m. Esta formación corresponde a un ambiente continental de agua dulce. Su potencia llega a tener 1 000 m. Data del Mioceno. Las señales de alerta corresponden a movimientos en masa y afectan a poblados, vías e infraestructura productiva.

*Formación Chambira:* Está compuesta por areniscas, lutitas, tobas y se localiza entre los 1000-1500 m. Aparece en el sector norte de la parroquia y constituye un conjunto de colinas bajas a muy bajas. De forma superficial en los primeros 100 m hay alternancia de estratos de arcilla y finos estratos de arenas no consolidadas. Las señales de alerta están dadas por movimientos en masa con afectaciones en poblados, vías e infraestructura productiva.

*Depósito Aluvial:* Compuesta por arcillas y arenas. Proviene de la erosión de formaciones de la cuenca Oriental. Son de potencia reducida, no se encuentran más allá de 10 m, y generalmente de granulometría fina, limos y arcillas. Las señales de alerta están dadas por inundaciones, y movimientos en masa que pueden afectar poblados, vías y actividades agrícolas.

Así mismo, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana (2014, pp.36-39) señala que la comunidad García Moreno al encontrarse ubicada en la parte norte de la parroquia, presenta estas tres unidades geológicas. Con predominancia de la formación Chambira, seguida de la formación Arajuno con suelos de color rojizo característico en de las fincas; luego se encuentra el Depósito Aluvial, presente mayormente en el casco urbano, siendo la zona más baja de la comunidad.

### **2.2.2. Los suelos**

El suelo es la parte más externa de la corteza terrestre, está compuesto en gran medida por restos de roca originada durante los procesos erosivos y otros eventos físicos y químicos, así como de materia orgánica resultado de la actividad biológica que se desarrolla en la superficie (Equipo editorial Etecé., 2021, párr.1). Según la Soil Taxonomy, suelo posee varios horizontes o capas, que son distinguibles desde el material inicial y resultando en adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o de la habilidad de soportar raíces de plantas en ambiente natural (Sevillano et al. 2012; Moreno et al. 2017).

### **2.2.3. Suelos de la parroquia García Moreno**

A nivel del cantón Francisco de Orellana predominan los suelos con texturas arcillosas. En este tipo de suelo se producen procesos de oxidación por lo que su coloración es amarilla o rojiza.

Estos tienen una textura pesada y pegajosa cuando está húmedo y muy dura cuando está seco debido a que estos suelos retienen mucha humedad (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana, 2014, pp.37-39). Según (Consultor, 2020, pp.44-45) las características morfológicas del área de estudio, se determina la existencia de los siguientes suelos en la parroquia García Moreno:

**Inceptisol:** Son suelos con un nivel de desarrollo primitivo; con intemperización extrema, alto contenido de materia orgánica y baja descomposición a causa del clima cálido; de pH básico y con alta fertilidad gracias a la disposición de franjas aluviales. Exhibe dos subórdenes:

- Udepts: Este suborden muestra regímenes de humedad údicos o extremadamente húmedos (perúdicos). Se caracterizan por su vegetación forestal, aunque pueden presentarse arbustos o plantas herbáceas. Cubre una superficie de 8696.4 ha que figura como el 66% de la superficie de la parroquia.
- Aquepts: Este tipo de Inceptisoles pertenecen a regiones húmedas de poco o incluso muy escaso drenaje natural. Este tipo de suelo que no se drena artificialmente, se satura de agua hasta aparecer ésta en superficie. Son suelos que generalmente tienen un horizonte superficial de gris a negro, y un horizonte subsuperficial gris; con concentraciones rédox que empiezan a una profundidad menor de 50 cm. Ocupan 16.02 ha, que representa el 0.12% de la superficie total de la parroquia.

**Ultisol:** Son suelos ácidos, con horizonte argílico o kándico. Son más jóvenes que los oxisoles, no obstante, presentan características similares como la alta intemperización, colores rojizos y pardos por presencia de sesquióxidos de hierro y aluminio. Ostentan un horizonte de acumulación de arcillas y bajo contenidos de bases minerales, lo que los hace poco fértiles para la agricultura. Con un suborden:

- Humults: Elevado contenido en materia orgánica. Se encuentran en zonas con pendientes elevadas y con alta tasa de precipitación, aunque con periodos de baja humedad durante algunas estaciones. Cubren 3754.67 ha, que corresponden al 28.5% de la superficie parroquial. (Consultor, 2020, pp.46-47)

Los Inceptisoles con el tipo de orden Udepts son la clase de suelo que más predominan en la parroquia con un 66%, sin embargo, dentro de la comunidad García Moreno se destacan más los Ultisoles, ya que la coloración rojiza y pardo son la característica principal de esta zona.

### *2.2.3.1. Cobertura vegetal y uso del suelo*

De acuerdo con el Equipo Consultor menciona lo siguiente:

Hace aproximadamente 50 años, casi la totalidad de la superficie del cantón poseía una cobertura de vegetación natural no intervenida, que incluía humedales, cuerpos de agua como ríos, lagunas y arena. El cantón Francisco de Orellana al igual que toda la provincia eran netamente “forestal”;

el uso de su total cobertura boscosa estaba limitado al manejo “sustentable” de sus recursos por los pobladores, en su mayoría indígenas. (Consultor, 2020, p.47)

En el territorio parroquial predomina el bosque nativo como cobertura principal abarcando una superficie de 9203.18 ha, que equivale al 69.88%, el 22.11% corresponde a pastizales, y apenas un 1% se identifican con cultivos. Las áreas pobladas tienen una superficie reducida con apenas el 26.43 ha que corresponde al 0.20% de la superficie total, y la infraestructura antrópica abarca una superficie de 30.18 ha, siendo el 0.23% (Consultor, 2020, p.48). Los bosques nativos aún cuentan con una gran extensión de terreno en la parroquia, lo cual resulta importante para la conservación de especies florísticas y faunísticas, seguido de esto se encuentran los pastizales, que han empezado a ganar terreno, lo cual es un indicador de la expansión del sector ganadero, no obstante, esto puede resultar un poco perjudicial si se lo hace de manera agresiva y no controlada.

**Tabla 1-2:** Superficie según tipo de cobertura natural y uso de suelo

Cobertura natural y uso	Superficie (has.)	Porcentaje
Área Poblada	26.43	0.20
Bosque Nativo	9 203.18	69.88
Cuerpo Agua	430.94	3.27
Cultivo	131.98	1.00
Erial	64.46	0.49
Infraestructura Antrópica	30.18	0.23
Pastizal	2 912.69	22.11
Vegetación Arbustiva	368.36	2.80
Vegetación Herbácea	2.68	0.02
<b>TOTAL</b>	<b>13 170.90</b>	<b>100.00</b>

Fuente: (Consultor, 2020, p.48)

**Nota:** Los bosques nativos aún cuentan con una gran extensión de terreno en la parroquia, lo cual resulta importante para la conservación de especies tanto en flora como en fauna, seguido de esto se encuentran los pastizales, que han empezado a ganar terreno, lo cual es un indicador de la expansión del sector ganadero, no obstante, puede resultar un poco perjudicial si se lo hace de manera agresiva y no controlada.

### 2.2.3.2. Cambios de uso de suelo

El GAD de la provincia de Orellana ha reportado que entre 2000 y 2013, la principal causa del cambio de cobertura y uso de suelo fue la deforestación. Esta se define como la desaparición o disminución de las superficies cubiertas por bosque, que causa una transformación de la cobertura vegetal natural; casi siempre debido a la actividad humana con el objetivo de darle un nuevo uso al suelo para actividades agrícolas (GADPO, 2015, pp.107-110).

Así, mismo en 2014, en El Plan Nacional de Cambio Climático (PNCC), se advierte que la deforestación es la primera causa de emanaciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Ya que,

al suelo se le da un uso agrícola que admite un fuerte uso de fertilizantes nitrogenados; en adición a la fermentación producida por la ganadería; y la quema no controlada. En este orden, en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), se especifica además que, la deforestación aumenta la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático. Ocasionando la pérdida de la capacidad de adaptación de los ecosistemas y su consecuente variabilidad genética (ENDAVANT, 2015, pp.16-17).

En concordancia con el equipo consultor del PDyOT de García Moreno, menciona que:

El cambio del uso del suelo por la expansión de la frontera agrícola no ha contribuido a mejorar la calidad de vida de la población: la pérdida de bosque en el cantón para promover la actividad agropecuaria (cultivos de café, cacao y pastizales, por lo general de subsistencia) y la industria agrícola (palma africana), no han resultado en actividades rentables, principalmente debido a la aptitud no agrícola del suelo. (Consultor, 2020, p.50)

#### ***2.2.4. Tipos de suelos***

Existen diversos tipos de suelo, resultantes de procesos distintos de formación, sedimentación, la deposición eólica, la meteorización y los residuos orgánicos. El Equipo Editorial Etecé manifiesta que pueden clasificarse de acuerdo a dos distintos criterios.

Según su estructura:

- **Suelos arenosos:** No pueden reservar agua, tienen limitadas cantidades de materia orgánica y como resultado son poco fértiles.
- **Suelos calizos:** En ellos predominan los minerales calcáreos y sales, componentes que les atribuye cierta dureza, aridez y un color blanquecino.
- **Suelos humíferos:** Se destacan por su albergar tierra negra, con abundantes cantidades de materia orgánica en descomposición y retienen muy bien el agua. Son altamente fértiles.
- **Suelos arcillosos:** Se componen gránulos de color amarillo y se caracterizan por captar muy bien el agua, de tal manera que suelen inundarse de forma frecuente.
- **Suelos pedregosos:** Son altamente porosos y no retienen agua, debido a que están constituidos por rocas de tamaños diversos.
- **Suelos mixtos:** Se refiere a la mezcla de distintos tipos de suelos, cuya mezcla regularmente puede ser entre el tipo arenoso y arcilloso. (Equipo editorial Etecé., 2021, párr.15)

Según sus características físicas:

- **Litsoles:** Se los denomina también “leptosoles”. Están dispuestos en capas finas de suelo, que alcanzan hasta 10cm de profundidad. Su vegetación es pobre.
- **Cambisoles:** Son suelos juveniles, que tienen incipientes cúmulos de arcillas.
- **Luvisoles:** Suelos arcillosos con una saturación de bases del 50% o superior.

- **Acrisoles:** Son un tipo de suelo arcilloso, diferenciado por tener una saturación de bases menor al 50%.
- **Gleysoles:** Presentan regularmente agua o casi constantemente.
- **Fluvisoles:** Son suelos jóvenes originados a partir de depósitos fluviales, frecuentemente abundantes en calcio.
- **Rendzina:** Albergan considerable cantidad de materia orgánica yuxtapuesta en piedra caliza.
- **Vertisoles:** Son suelos del tipo arcillosos y negros. Se encuentran en escurrimientos y pendientes rocosas. (Equipo editorial Etecé., 2021, párr.16)

### 2.2.5. *Composición del suelo*

El suelo está compuesto por ingredientes sólidos, líquidos y gaseosos, tales como lo indica la UNLP:

- **Sólidos.** Corresponde a la parte mineral y rocosa del suelo. Puede constituirse de materiales como silicatos, óxidos de hierro y de aluminio, carbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos y sólidos de origen orgánico como el humus.
- **Líquidos.** Corresponde principalmente a la parte acuosa del suelo. Encontrándose en estado puro o con iones y sustancias orgánicas. El agua del suelo se mueve por capilaridad, y de acuerdo a la permeabilidad del suelo, es posible que diversas sustancias se transporten de un nivel a otro.
- **Gaseosos.** Distintos gases atmosféricos pueden estar en el suelo, entre ellos el oxígeno (O<sub>2</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Sin embargo, el suelo puede albergar también otros gases como hidrocarburos gaseosos como el metano (CH<sub>4</sub>); y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). (UNLP, 2020, p.4)

### 2.2.6. *Capacidad de uso de la tierra*

La Capacidad de Uso de la Tierra (CUT) es un parámetro establecido por el Servicio Estadunidense de Conservación de Suelo o Soil Conservation Service USA. Indica el soporte que posee cada unidad de tierra para usos específicos. Se han definido ocho clases, de las cuales las cuatro primeras pertenecen a tierras arables reservadas a usos agrícolas y las cinco últimas tienen distintos niveles de limitaciones para su uso en la actividad agrícola. En esta línea, la parroquia García Moreno presenta suelos dentro de las categorías IV, V, VI, VII y VIII (Tabla 2-2). La categoría preponderante corresponde al CUT VI, de tierras aptas para aprovechamiento forestal. Es decir que, exhibe fuertes limitaciones para actividades agropecuarias. Esta categoría cubre 11 054 Ha, que equivale al 83% de la superficie parroquial (CLIRSEN et al., 2011: p.5).

**Tabla 2-2:** Capacidad de uso de la tierra (CUT)

CUT	Descripción	Superficie (Ha)	Porcentaje
IV	Moderadas limitaciones	1024.50	7.78
V	Limitaciones fuertes a muy fuertes	127.70	0.97
VI	Tierras aptas para aprovechamiento forestal (limitaciones muy fuertes)	11054.34	83.93
VII	Tierras de protección (limitaciones muy fuertes)	215.63	1.64
VIII	Limitaciones muy fuertes (conservación)	44.96	0.34
No aplicable	No aplicable	703.78	5.34
<b>TOTAL</b>		13170.92	100.00

Fuente: (Consultor, 2020, p.51)

**Nota:** Las tierras aptas para el aprovechamiento forestal son extensas de acuerdo a los datos proporcionados, ocupando un porcentaje mayor al 80%, lo que indica que tiene serias limitaciones que lo hacen generalmente inadecuado para los regímenes convencionales de cultivo intensivo.

### 2.2.7. Manejo del suelo

De acuerdo a FAO y MADS (2018: p.6) una gestión adecuada del suelo constituye un factor esencial en la agricultura sostenible. Por ello, los suelos saludables son necesarios para cumplir con la demanda de alimentos, biomasa (energía), fibra, forraje y otros productos. Y, para salvaguardar la provisión de servicios ecosistémicos como la regulación del clima y la biodiversidad. El manejo del suelo es el conjunto de acciones determinadas con el fin de que este recurso natural adquiera las características necesarias para la producción agrícola y que las conserve o incremente. Vivas et al., (2014: p.83) señalan que entre las acciones de manejo del suelo más importantes se pueden mencionar las siguientes: descanso del suelo, labranza, control de la erosión, preservación de agua, adición de materia orgánica, aplicación de mejoradores de suelo, riegos, etc.

### 2.2.8. Degradación del suelo

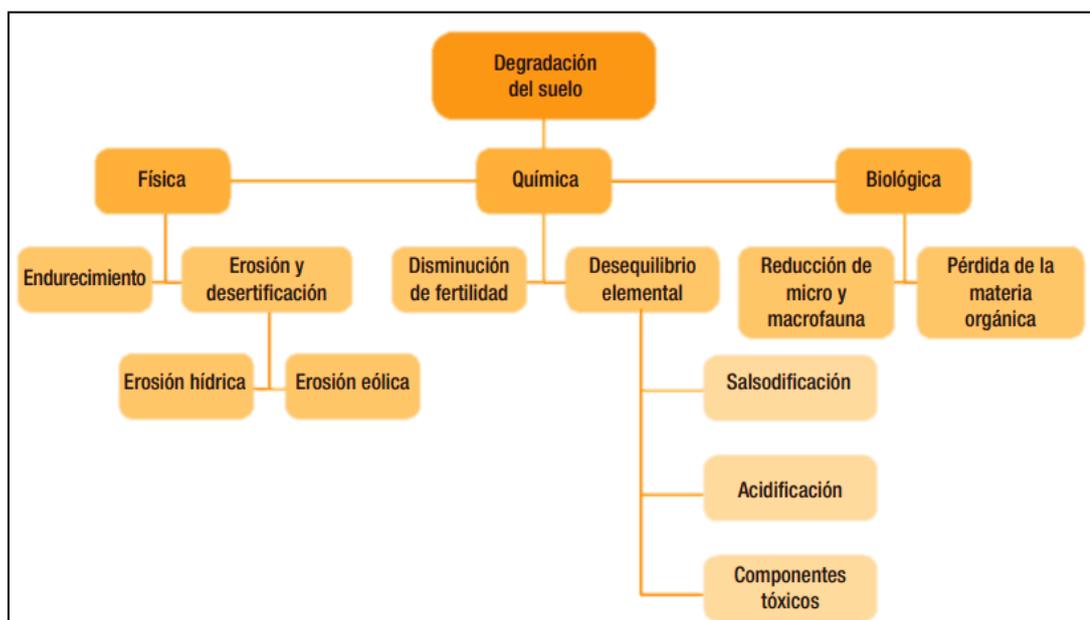
Como Jacto (2021, párr.4-5) indica, la degradación del suelo es un proceso de disminución continua de su calidad. Minimiza la capacidad tanto actual como futura para continuar en el desempeño de sus funciones características. De acuerdo al desplazamiento del suelo, se registran dos tipos de procesos de degradación de los suelos

- **Desplazamientos:** Son aquellos que se originan como efecto del movimiento de fracciones de suelo. En esta sección se encuentran los efectos de erosión producidos por el agua y viento.
- **Degradación *in situ*:** Se producen por procesos de degradación física o química. Los primeros pueden deberse la compactación y la artificialización (piso de pezuña o de arado, planchado,

costras). Los segundos, pueden ser: salinización, acidificación, merma de la cantidad de materia orgánica o contaminación.

Piscitelli aporta mencionando que, la degradación del suelo también está gobernada por una interacción de fenómenos físicos, químicos, y biológicos:

- **Degradación física:** Son una serie de micro procesos superficiales o subsuperficiales que alteran el espacio libre (poroso) que tiene el suelo para que se pueda movilizar el aire, el agua, nutrientes y desarrollo de raíces.
- **Degradación biológica:** Es la disminución de la biodiversidad y de materia orgánica. Es decir, es la pérdida, de diversidad de los organismos vivos presentes en el suelo; y, derivado de ello, la desaparición de materia descompuesta (organismos de origen animal y vegetal parcial o totalmente transformados). De modo que, las principales funciones del suelo concernientes a la actividad agrícola se ven afectadas: transformación, reciclado y posterior asimilación de los nutrientes por las plantas
- **Degradación química:** Son procesos vinculados a la degradación biológica y suelen ocurrir en condiciones extremas. Como el agotamiento de nutrientes y la acidificación del suelo, a consecuencia de la disminución de la materia orgánica, la contaminación del suelo, uso y manejo incorrecto de insumos y desechos de la agricultura. Otro proceso químico que se produce es la salinización, donde existe alto contenido salino en el agua de riego y restricciones en el sistema de drenaje. (Piscitelli, 2015, párr.12-14)



**Ilustración 1-2:** Degradación del suelo según aspectos físicos, químicos y biológicos

Fuente: (Montiel y Ibrahim, 2016: p.13).

### 2.2.8.1. Tipos de degradación del suelo

Novillo al enfatizar en los tipos de degradación de suelos menciona que pueden ser cuatro: erosión, salinización, contaminación y sequías.

- **Erosión:** Se produce cuando la capa superior del suelo, la más significativa para el desarrollo de la vida, se ve muy disminuida o desaparece totalmente. Esto se puede ocasionar de por el arrastre del agua o el viento.
- **Salinización:** Este fenómeno acontece cuando hay sobreexplotación las aguas dulces subterráneas cercanas al mar. Entonces, el agua de mar se moviliza hacia tierra, bañándola con agua salada. Es común en zonas de costa
- **Contaminación:** Es la introducimos de cualquier elemento extraño al ecosistema. Se puede producir por causas naturales o antropogénicas, como erupciones, terremotos, o la disposición de residuos sólidos o vertidos de aguas contaminadas, o por el arrastre de elementos perjudiciales durante las lluvias.
- **Sequías:** Referido a la pérdida o ausencia de agua en el suelo. Uno de los fenómenos determinantes para la existen de vida, no solo en el suelo. De gran trascendencia también, en el contexto de cambio climático. (Novillo, 2019, párr.7-10)

### 2.2.9. Biodiversidad del suelo

Laban et al., (2018: pp.1-2) expresan que la biodiversidad del suelo se refleja a través de la mezcla de los organismos vivos, incluyendo bacterias, hongos, protozoarios, insectos, lombrices, y otros vertebrados e invertebrados. Esto conlleva a la conformación de una red de actividad biológica, pues se posibilita la interacción entre microorganismo, plantas y animales pequeños. La mayoría de las especies viven en una fina capa de 2 a 3 centímetros en la capa superior del suelo, donde hay una mayor concentración de materia orgánica y de raíces. Por ejemplo, las cortezas biológicas de los suelos son comunidades de musgos, líquenes y microorganismos eficaces para la conservación de la fertilidad en las tierras áridas de todo el mundo.

El suelo probablemente es uno de los ecosistemas más intrincados: implica a una diversidad de organismos que se correlacionan y aportan a los ciclos globales que hacen posible la vida. Por lo general, se pueden encontrar más de 1000 especies de invertebrados en 1 m<sup>2</sup> de suelos forestales. Además, se considera que un suelo sano típico puede contener:



**Ilustración 2-2:** Especies que contiene un suelo sano

**Fuente:** (Morales, 2015, p.2)

### 2.2.9.1. Funciones de los organismos en el suelo

Con respecto a las funciones los organismos del suelo Morales enfatiza en que los son los principales responsables de varias funciones vitales en el ecosistema del suelo

- Mantenimiento de la estructura del suelo.
- Ciclo de los nutrientes.
- Fuentes de alimento y medicinas.
- Regulación del ciclo hidrológico del suelo
- Relaciones simbióticas y asimbióticas entre las plantas y otros organismos
- Desintoxicación del suelo.
- Descomposición de la materia orgánica.
- Intercambio de gases y fijación del carbono.
- Control del crecimiento vegetal.
- Eliminación de plagas, parásitos y enfermedades. (Morales, 2015, p.2)

### 2.2.10. Propiedades del suelo

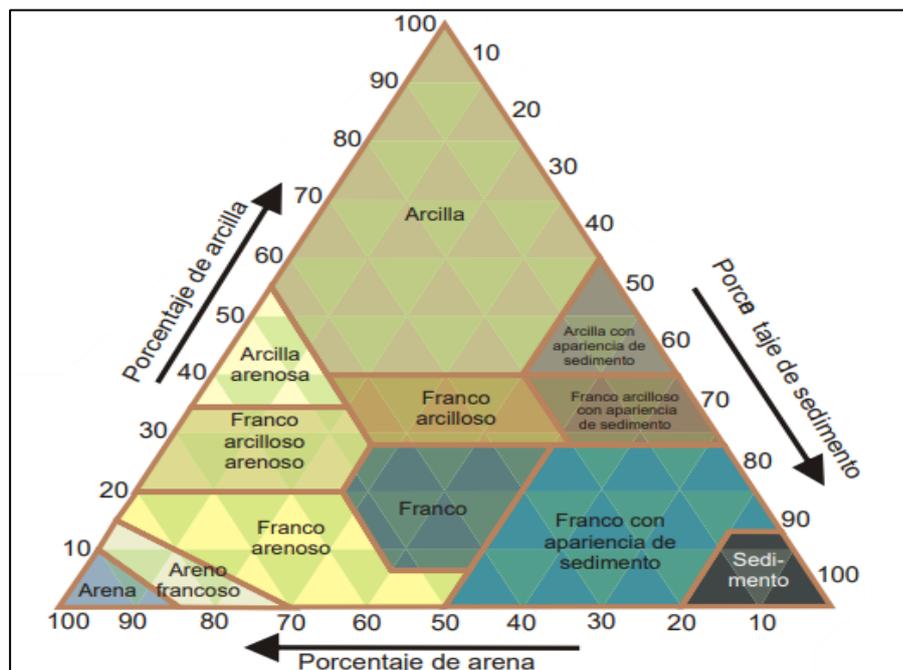
#### 2.2.10.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los suelos son determinantes de sus usos. Puesto que, establecen la rigidez, la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje, de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks et al., 2004: p.1).

- **Color:** El color del suelo permite reconocer minerales dominantes que se encuentran presentes, a su vez funciona como indicador del contenido y estado de descomposición de la materia orgánica. La herramienta que se utiliza para medir o determinar la coloración del suelo es la tabla Munsell, en ella se muestra una paleta con las diferentes tonalidades que puede

tener. Raudes y Sagastume, (2009: p.19) mencionan que un suelo puede ser: de color rojo que se caracteriza por tener un buen drenaje y pasar mucho tiempo seco; amarillos cuando suelen estar húmedos constantemente, pero no inundados; en cambio, los suelos amarillos con motes oscuros pasan la mayoría del tiempo saturados, pero a veces drenan; de color oscuro-gris no drenan y están siempre saturados, mientras los de tonalidad gris pálido tienen poca materia orgánica, la cual está totalmente descompuesta; y finalmente de color café alojan alto contenido de materia orgánica no descompuesta.

- **Textura:** Se refiere a la cantidad relativa de arcilla, limo y arena presentes en el suelo, es importante ya que influye en la adaptación ecológica de las prácticas biológicas de conservación de suelos y agua; es decir, que las especies y variedades se adaptan a una determinada textura del suelo. Según el porcentaje de cada una de las partículas de arena, limo y arcilla que lo forman se puede clasificar siguiendo la Ilustración 4-2.



**Ilustración 3-2:** Clasificación de la textura del suelo

Fuente: (Raudes y Sagastume, 2009: p.20)

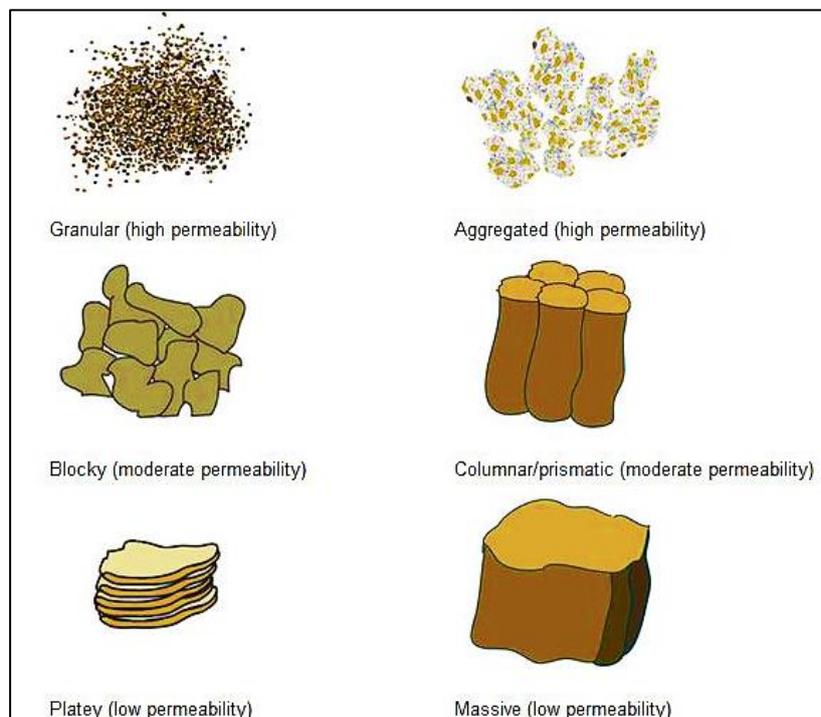
Por otra parte, de acuerdo al sistema de clasificación por textura de la USDA, establece los límites de los tamaños de las partículas: De la arena van de 2.0 a 0.05 mm en diámetro, del limo oscilan entre 0.05 a 0.002 mm en diámetro y la arcilla alcanzar tamaños menores a 0.002 mm en diámetro.

- **Humedad:** Se entiende como la cantidad de agua presente en el suelo. De acuerdo al contenido de humedad un suelo puede estar en capacidad de campo, punto de saturación o punto de marchitez permanente. La capacidad de campo indica que el suelo tiene una humedad conveniente para permitir el laboreo, la germinación y emergencia de las plantas. El punto de

saturación se refiere a que el suelo tiene exceso de agua y fácilmente se vuelve barro, en cambio el punto de marchitamiento indica que el suelo está muy seco. En los dos casos no se recomienda laborar el suelo ni efectuar siembras (Coral et al., 2011: p.12).

Entre mayor cantidad de arcilla y/o MO, mayor cantidad de agua retenida; es por ello que suelos arenosos suelen saturarse más rápidamente que un arcilloso. Es importante conocer el manejo de los riegos en el cultivo en base al tipo de suelo y evitar un estrés hídrico que repercuta en el rendimiento (Intagri, 2020, párr.10).

- **Estructura:** Es la forma como se agrupan las partículas del suelo (agregados) lo cual ocurre principalmente por la actividad de los microorganismos. Para la conservación de una buena estructura o la estabilidad de los agregados es indispensable un adecuado manejo de un suelo (Coral et al., 2011: p.10). Como se observa en la Figura 5-2, según el tipo de estructura, los suelos pueden ser:



**Ilustración 4-2:** Tipos de estructuras del suelo

Fuente: (Shanstrom, 2021)

- **Porosidad:** Es el espacio ocupado por el aire dentro de un volumen de suelo, cuando un suelo tiene buena agregación de partículas se forman poros que permiten la aireación y el movimiento del agua, además, permiten el desarrollo de la raíz y la nutrición de la planta. Por lo general el volumen de un suelo está compuesto por el 50% de materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y un 50% de espacio poroso. Los tipos de porosidad se aprecian en la Tabla 3-2.



- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** Se define como el número de cargas negativas que se encuentran presentes en la superficie del suelo y la cantidad de cationes que puede retener, dado un determinado pH. Motivo por el cual el aumento o disminución del pH influye directamente en la cantidad de cargas negativas que va a poseer un suelo. A razón de lo mencionado se tiene que de todos los procesos que se dan en el suelo, el intercambio iónico y la fotosíntesis son los de mayor importancia para las plantas (Ramírez, 1997, p.12-13).
- **Materia orgánica de los suelos (MO):** La materia orgánica es un conjunto de sustancias en continua transformación, está formada por residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición. Hay varios tipos de MO: El primer tipo hace referencia a la materia orgánica vieja (de color pardo y negruzco) que proviene de la descomposición de residuos vegetales por acción de los microorganismos y se caracteriza por no sufrir descomposición o transformaciones considerables, también denominada como Humus. El segundo tipo es aquella que se encuentra parcialmente descompuesta y alberga la mayoría de la vida del suelo, ya que provee un sustrato de nutrientes para los seres vivos. Además, hay que señalar que, los compost, algunos excrementos más viejos y la materia orgánica verde después de que ha sido dejada en el suelo por dos semanas, se consideran parte de este tipo de MO (Coral et al., 2011: p.14-15).
- **Salinización de los suelos o conductividad eléctrica:** Se refiere a la acumulación de sales solubles en agua en el suelo. Las sales que se pueden encontrar en un nivel freático salino se transportan con el agua a la superficie del suelo mediante ascenso capilar y una vez que el agua se evapora se acumulan en la superficie del suelo, así como se pueden acumular naturalmente o por la intrusión de agua marina. Esto a su vez conlleva a la salinización, la cual produce la degradación de los suelos y la vegetación. Entre las sales más comunes se encuentran en combinaciones de los cationes de sodio, calcio, de magnesio y de potasio con los aniones de cloro, sulfato y carbonatos (FAO, 2022b, párr.8).
- **Macronutrientes:** También se los denomina nutrientes primarios. Entre los nutrientes, el nitrógeno (N) es el nutriente fundamental que más se necesita para la producción de cultivos, su deficiencia provoca el amarillamiento de las hojas de los cultivos y reducen el macollamiento de los cultivos de cereales. El nitrógeno da color verde oscuro a las plantas y aumenta el crecimiento vegetativo de las plantas de cultivo. El fósforo (P) es el segundo más requerido, y es vital para la división celular, la actividad enzimática, los procesos de carbohidratos, mantener la estructura de la membrana, sintetizar moléculas biomoleculares y formar moléculas de alta energía. El potasio (K) es otro macronutriente esencial que se involucra en procesos fisiológicos vitales para la absorción, transporte de nutrientes, especialmente en condiciones adversas. Sin una gestión adecuada, la producción continua de cultivos puede reducir las reservas de nutrientes en el suelo y la productividad de los cultivos pueden verse comprometidos (Zewdie y Reta, 2021: pp.2-3).

- **Micronutrientes:** Son elementos traza y se encuentran en cantidades mínimas en los tejidos, pero tienen un papel esencial en el crecimiento y desarrollo de las plantas, entre los cuales se encuentran: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), zinc (Zn) y níquel (Ni). Las concentraciones de micronutrientes son generalmente más altas en la superficie del suelo y disminuyen con la profundidad. A pesar de la alta concentración de la mayoría de los elementos traza, solo una pequeña fracción está disponible para las plantas. Esto se debe principalmente a la intensa lixiviación asociada con las altas precipitaciones, lo que es muy común en regiones templadas húmedas y tropicales húmedas. Su ausencia puede causar problemas graves en la producción de cultivo, los cuales varían considerablemente en su respuesta a los micronutrientes que posee el suelo (Gupta et al., 2008: pp.115-120).
- **Metales pesados:** Zhao et al., (2022: pp.1-3) indican que los metales pesados son contaminantes comunes en el suelo, tales como: arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni). Entre los principales inconvenientes que presentan es que son biológicamente tóxicos, se encuentran ampliamente distribuidos y persisten a largo plazo en el suelo. A razón de esto, la evaluación de la contaminación por metales pesados de las tierras de cultivo es de gran importancia para poder controlar y mitigar su presencia. Así, Li et al., (2019: pp.381-383) apunta que las principales causas de esta persistencia son la industrialización, la urbanización; así como las actividades mineras y metalúrgicas, combustión de refinación de combustibles fósiles, eliminación de desechos municipales, aplicación de pesticidas y fertilizantes. Todas estas han propiciado que las últimas décadas, la liberación mundial anual de metales pesados alcance las 22 000 t de Cd, 939 000 t de Cu, 783 000 t de Pb y 1 35 000 t de Zn.
- Según las investigaciones llevadas a cabo por (Coral, K et al., 2021; Muyulema et al., 2019) en términos ecológicos se ha estudiado la toxicidad de un amplio listado de metales pesados como As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V y Zn. Aunque, por otra parte, Alengebawy et al. (2021: pp. 7-12) denuncia que la presencia de metales pesados en suelos agrícolas depende de las fuentes de contaminación externas derivadas del procesamiento industrial, minería, quema de combustibles fósiles y al uso de pesticidas o herbicidas inherentes a la actividad agrícola. Sin embargo, en cuanto a calidad de los suelos agrícolas, los dos metales pesados estudiados con mayor frecuencia, reportados por (Alengebawy et al., 2021; Iyama et al., 2022; Dinter et al., 2021) son Cd y Pb. No obstante, (Tóth et al., 2016; Srivastava et al., 2017) han estudiado además el Ni, Cr, Fe, Co, Mn, Zn y Hg, ya que es extremadamente desafiante recuperar el medio ambiente del suelo después de que los metales pesados lo han contaminado. Por lo tanto, afectarían el suelo para cultivos y la pondrían en detrimento la seguridad alimentaria. En esta línea, (Okerefor et al., 2020; Srivastava et al., 2017) sugieren que las implicaciones observadas ante la presencia de metales pesados en suelos agrícolas son: inhibición significativa de la actividad microbiana;

la acidificación; patrones de crecimiento y desarrollo retardados en los cultivos; supresión de las actividades metabólicas de las plantas, dando lugar a la senescencia de los cultivos.

### **2.2.11. Calidad del suelo**

La calidad del suelo puede influir en aspectos agronómicos, sociales, económicos y procesos edáficos (Labrador, 2008, p.41). Por consiguiente, se define como la capacidad específica que tiene un suelo para funcionar en un ecosistema natural o antrópico. De esta manera, los servicios ecosistémicos asociados al suelo están directamente relacionados con su calidad, que admite la promoción de la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas (productividad biológica sostenible); atenuación de contaminantes ambientales y patógenos (calidad ambiental); y, favorece la salud de plantas, animales y humanos (FAO y MADS, 2018: p.8).

Para determinar la calidad de los suelos se determinan indicadores físicos, químicos y biológicos. Un indicador es una herramienta de medición que provee de información sobre las propiedades, procesos y características del suelo. Los indicadores permiten dar seguimiento a los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo en un periodo dado. Pueden ser variables cualitativas como el afloramiento del subsuelo, aparición de canalículos de erosión, aparición de encharcamiento, etc., o cuantitativas como tasas de infiltración, capacidad de intercambio catiónico, pH, cantidad de nemátodos, etc., o índices compuestos por la relación entre diferentes variables (Astier et al., 2002: p.609).

#### **2.2.9.1. Indicadores de la calidad del suelo**

Un indicador de calidad del suelo es la medida de las propiedades de este. En cuanto a manejo, estos permiten monitorear la calidad y el funcionamiento del suelo en un tiempo determinado. Estos indicadores pueden ser de carácter cualitativos, cuantitativo o índices compuestos por la relación entre diferentes variables (Astier et al., 2002: p.610).

#### **2.2.9.2. Indicadores físicos**

Este tipo de características están relacionadas con la forma en el suelo retiene, moviliza el agua, y admite el crecimiento de las raíces, la emergencia de plantas. En definitiva, el arreglo de las partículas y los poros. Así que las características físicas que pueden ser estudiadas son: la estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica. Son difíciles de modificar o mejorar en el manejo de suelos (Bautista et al., 2004: p.93).

### 2.2.9.3. Indicadores químicos

Están vinculados a las transformaciones en la composición del suelo. Pueden ser: disponibilidad de nutrientes, cantidad de carbono orgánico total, pH, la conductividad eléctrica, concentración de fosfatos, la capacidad de intercambio de cationes, materia orgánica, el nitrógeno total y el nitrógeno mineralizable (Sánchez et al., 2012: p.131).

### 2.2.9.4. Indicadores biológicos

Estos se refieren a la presencia, abundancia, diversidad de organismos (microbianos o micro-invertebrados) y sus subproductos. Puesto que los organismos, cumplen con funciones como la descomposición, transporte y arreglo de los componentes del suelo. Lo que se observa en el transporte propágulos, antibiosis o reducción selectiva de la viabilidad y la construcción de galerías, nidos o compartimientos especializados (Bautista et al., 2004: p.95).

**Tabla 4-2:** Indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad del suelo

Categoría del Indicador de suelo	Indicador de suelo	Relevancia en los procesos y funciones del suelo	Contribución a los servicios ecosistémicos
<b>Físicos</b>	Densidad aparente	Penetración en las raíces de las plantas, porosidad, e intercambio gaseoso.	Producción de biomasa, reciclaje de nutrientes, regulación del clima.
	Capacidad de infiltración	Erosión de suelo, lixiviación.	Desarrollo/conservación del suelo, purificación y regulación de agua, mitigación de flujo.
	Capacidad de absorción de agua	Retención y transporte de agua y químicos	Purificación y regulación del agua, producción de alimento y fibra, producción de biomasa.
	Profundidad de suelo	Volumen de enraizado, hábitat para la fauna de suelo.	Secuestro de carbono, regulación del clima, producción de biomasa.
	Macro-agregación o estructura del suelo	Erosionabilidad, retención de materia orgánica y nutrientes, emergencia de cultivos	Desarrollo/conservación del suelo, secuestro de carbono, producción de biomasa.
	Pedregosidad superficial	Velocidad de infiltración y suelo eficaz enraizable	Desarrollo/conservación del suelo, regulación del agua
<b>Químicas</b>	Materia orgánica	Fertilidad y estructura del suelo, retención de agua y pesticidas.	Secuestro de carbono, desarrollo/ conservación del suelo, reciclaje de nutrientes, regulación y purificación del agua, producción de biomasa.
	Nitrógeno total	Desarrollo de plantas y fauna de suelo.	Producción de biomasa.
	pH	Disponibilidad de nutrientes, movilidad y absorción de pesticidas	Reciclaje de nutrientes, producción de biomasa.
	Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC)	Crecimiento de plantas, estructura del suelo, infiltración de agua	Reciclaje de nutrientes, producción de alimento y fibra, producción primaria.
	Conductividad eléctrica	Potencial de agua, salinidad	Regulación y purificación de agua, producción de alimento y fibra, producción primaria.

<b>Biológicas</b>	Respiración del suelo	Actividad biológica, actividad de biomasa	Reciclaje de nutrientes, regulación y purificación del agua, purificación de contaminantes.
	Actividad deshidrogenasa y fosfatasa	Velocidades de descomposición de los residuos de liberados por las plantas y nutrientes disponibles.	Reciclaje de nutrientes, producción de alimento y fibra, producción de biomasa.
	Índices de calidad biológica del suelo (QBS)	Abundancia de mesofauna y adaptación al hábitat del suelo.	Reservorios de biodiversidad

Fuente: (Costantini et al., 2015: p.3678)

## 2.2.12. Rango y categorías para el análisis de los parámetros

### 2.2.12.1. Indicadores físicos

#### Estructura

En la Tabla 5-2 se muestran las cuatro principales clases de estructuras de suelos de acuerdo a la forma ya aglomeraciones del suelo.

**Tabla 5-2:** Clases texturales de acuerdo a forma y aglomeraciones del suelo

Clase de estructura	Descripción	Capacidad de retención de agua y nutrientes
<b>Laminar</b>	De unidades planas, suelen estar orientadas horizontalmente. Se encuentra en suelos subterráneos que han sido sujetos a lixiviación o compactación por animales o maquinaria.	Tiende a impedir el movimiento descendente del agua y las raíces de las plantas a través del suelo.
<b>Prismático</b>	Agregados altos y angostos. Las estructuras prismáticas son características de los horizontes B o subsuelos. Esta estructura se encuentra en suelos jóvenes o en regiones secas/árida	Son el resultado de la congelación y descongelación, la humectación y el secado, así como el movimiento descendente del agua y las raíces.
<b>Bloques</b>	Agregados con lados que son más o menos iguales. Se encuentra en lo profundo del horizonte del suelo (perfil), pero también ocurren en suelos superficiales que tienen un alto contenido de arcilla.	A veces, la superficie de pantanos y estanques secos muestra agrietamiento y descamación característicos debido a las arcillas.
<b>Granular</b>	Las unidades estructurales son aproximadamente esféricas o poliédricas y están delimitadas por caras curvas o muy irregulares. La estructura granular es común en los suelos superficiales de pastizales ricos y suelos con alto contenido de materia orgánica.	Esta estructura permite una buena porosidad y un fácil movimiento de aire y agua. Buena estructura para la labranza.
<b>Sin estructura</b>	No se observan unidades en su lugar o después de que el suelo fue removido. Cuando los suelos sin estructura se rompen, resultan fragmentos de suelo, granos individuales o ambos.	-

Fuente: (USDA, 2017, p.157)

#### Textura

En adelante se muestra 12 clases texturales de acuerdo a la composición porcentuales de arena, limo y arcilla.

**Tabla 6-2:** Clases texturales del suelo

Clase Textural	Textura general	% de arena	% de limo	% de arcilla
<b>Arenoso</b>	Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10
<b>Arenoso franco</b>		70-86	0-30	0-15
<b>Franco arenoso</b>	Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20
<b>Franco</b>	Suelos francos (textura mediana)	23-52	28-50	7-27
<b>Franco limoso</b>		20-50	74-88	0-27
<b>Limoso</b>		0-20	88-100	0-12
<b>Franco arcilloso</b>	Suelos francos (textura moderadamente fina)	20-45	15-52	27-40
<b>Franco arenoso arcilloso</b>		45-80	0-28	20-35
<b>Franco limoso arcilloso</b>		0-20	40-73	27-40
<b>Arcilloso arenoso</b>	Suelos arcillosos (textura fina)	45-65	0-20	35-55
<b>Arcilloso limoso</b>		0-20	40-60	40-60
<b>Arcilloso</b>		0-45	0-40	40-100

Fuente: (GADPO, 2015. p.33)

## Humedad

El contenido de humedad de los suelos generalmente se encuentra en un rango de 5 a 50 % cuando se encuentran en su máxima capacidad de retención o de campo (Consulting, 1993, párr.3). En la Tabla 7-2. se exponen los límites de agua del suelo de acuerdo a la textura.

**Tabla 7-2:** Umbrales típicos de agua del suelo para diferentes texturas de suelo

Textura del suelo	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitamiento permanente (%)	Agua total disponible (%)
<b>Arena</b>	10	4	6
<b>Arena arcillosa</b>	16	7	9
<b>Franco arenosa</b>	21	9	12
<b>Marga</b>	27	12	15
<b>Franco limoso</b>	30	15	15
<b>Franco arcilloso arenoso</b>	36	16	20
<b>Arcilla arenosa</b>	32	18	14
<b>Franco arcilloso</b>	29	18	11
<b>Franco arcilloso limoso</b>	28	15	13
<b>Arcilla limosa</b>	40	20	20
<b>Arcilla</b>	40	22	18

Fuente: (Datta et al., 2017: p.3)

En la Tabla 8-2. se muestra la categoría de suelo de acuerdo al contenido de agua.

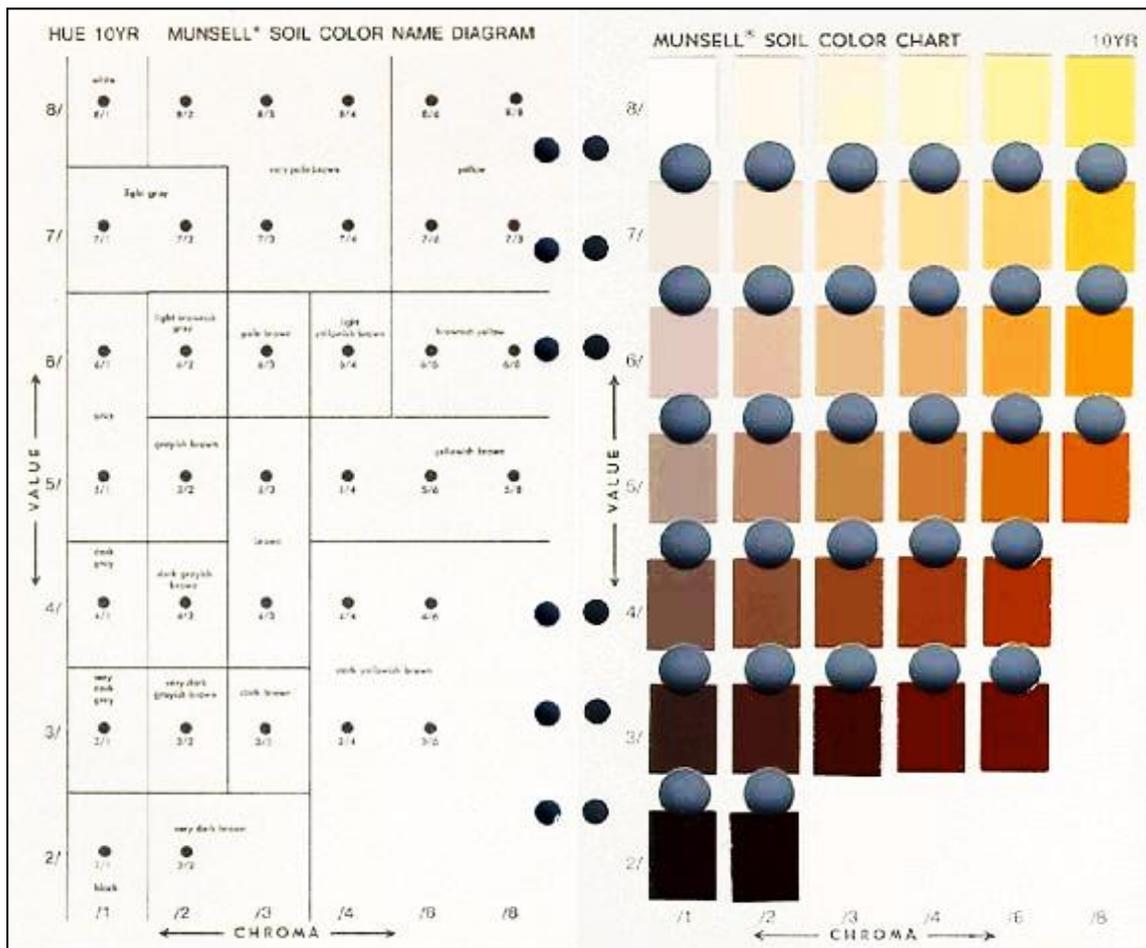
**Tabla 8-2:** Tipo de suelo de acuerdo al contenido de agua.

Condición	Contenido de Agua (%)
Muy seco	<15
Seco	15-20
Moderado	20-25
Húmedo	25-30
Muy húmedo	>30

Fuente: (Lion et al., 2021: p.262)

**Color**

El sistema de color Munsell utiliza tres elementos de color: tono, valor, y croma como se aprecia en la Figura 5-2. La notación de color se registra como: matiz, valor/croma (por ejemplo, 10Y 6/3). El tono es una medida de la composición cromática de la luz que llega al ojo. El sistema Munsell se basa en cinco tonos principales: rojo (R), amarillo (Y), verde (G), azul (B) y morado (P). El valor indica el grado de claridad u oscuridad de un color en relación con una escala de grises neutra. Y el croma es la pureza relativa o la fuerza del color espectral. Las escalas de croma para suelos se extienden desde 0 hasta 8 (Galicia, 2018, párr.4-6).



**Ilustración 6-2:** Tabla de Munsell correspondientes al matiz 10 YR (Yellow-Red)

Fuente: (USDA, 2017, p.148)

### 2.2.12.2. Indicadores químicos

#### Potencial de hidrógeno (pH)

Aunque la escala de pH está establecida entre 1 y 14, donde 7 se considera neutro, bajo 7 ácido y sobre 7 básico. El pH de los suelos puede variar naturalmente entre 3,5 y 1 (AEFA, 2021; Cremona y Enriquez, 2020). El Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de Estados Unidos ha establecido 11 clases que van desde suelos Ultra ácidos a Muy fuertemente alcalinos como se presenta en la Tabla 9-2.

**Tabla 9-2:** Categorización del suelo de acuerdo a su rango de pH

Clase	Rango de pH
Ultra ácido	< 3.5
Extremadamente ácido	3.5 – 4.4
Muy fuertemente ácido	4.5 – 5.0
Fuertemente ácido	5.1 – 5.5
Moderadamente ácido	5.6 – 6.0
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5
Neutral	6.6 – 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 – 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 – 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 – 9.0
Muy fuertemente alcalino	> 9.0

Fuente: (USDA, 2017, p.199)

#### Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica determina indirectamente la concentración de sales en el suelo. Éste contiene naturalmente sales disueltas, por ello la conductividad eléctrica puede llegar a ser muy baja, pero nunca nula (Cremona y Enriquez, 2020: pp.2-3). Se muestran las categorías de salinidad en la Tabla 10-2.

**Tabla 10-2:** Categorización de salinidad del suelo de acuerdo a la conductividad eléctrica

Clase de salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	Conductividad eléctrica (µS/cm)
No salino	0.0-2.0	0 - 2000
Muy ligeramente salino	2.1-4.0	2100 - 4000
Ligeramente salino	4.1-8.0	4100 - 8000
Moderadamente salino	8.1-16.0	8100 - 16000
Fuertemente salino	> 16.0	> 16000

Fuente: (USDA, 2017. p.202)

Nota=1 Ds/M = 1000 Us/CM

### Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio generalmente se expresa en meq/100 g de suelo. Representa la proporción de coloides y minerales de los mismos presentes, pudiendo variar en un vasto rango (Quiroga y Bono, 2012: pp.14-15). La CIC permite comprender el estado de la fertilidad de los suelos y se relaciona directamente con el pH. Sus rangos se indican en la Tabla 11-2.

**Tabla 11-2:** Categorización de la capacidad de intercambio catiónico

Categoría	CIC (meq/100 g de suelo)	Observaciones
Muy bajo	0-10	Suelo muy pobre, necesita aporte importante de MO.
Bajo	10-20	Suelo pobre, necesita aporte de MO.
Mediano	20-35	Suelo medio
Media alto	35-45	Suelo rico
Alto	>45	Suelo muy rico

Fuente:(Garrido, 1994, p.28)

### Macronutrientes

Los macroelementos estudiados de relevancia para la calidad del suelo son nitrógeno(N), fósforo(P) y potasio(K). Se presentan los rangos en la Tabla 12-2.

**Tabla 12-2:** Rangos de las concentraciones de macronutrientes del suelo

Rangos	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)
Baja	0-19	0-5	0-79
Media	20-39	6-11	80-159
Alta	>40	>12	>160

Fuente: (González, 2009, p.46)

### Micronutrientes

Los micronutrientes estudiados de relevancia para la calidad del suelo de son cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn). Se presentan cinco rangos en la Tabla 13-2.

**Tabla 13-2:** Límites críticos de las concentraciones de micronutrientes del suelo

Rangos	Cu (mg/kg)		Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)
	<7% MO	>7% MO			
Deficiente	< 0.4	< 0.6	<2	<1.0	<0.5
Marginal	0.5-0.6	0.7-1.0	2.0-4.5	-	0.6-1.0
Adecuado	>0.6	>1.0	>4.5	>1.0	>1.0

Fuente: (Russell, 1992; Elston, 1999)

## Materia orgánica

Las clases de suelo de acuerdo a la cantidad de materia orgánica que lo componen en una capa de 10 cm superficiales:

**Tabla 14-2:** Clasificación del suelo según el contenido de materia orgánica

Clase	% MO
Muy deficiente	0-175
Deficiente	1.76-2.5
Algo deficiente	2.60-4.00
Normal	4.10-5.00
Apreciable	5.00-8.00
Humífero	8.10-10.00
Muy Humífero	>10.00

Fuente: (González, 2009, p.47)

## Metales pesados

Los límites permisibles de mercurio (Hg), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), níquel (Ni) en suelos agrícolas se indican en la Tabla 15-2.

**Tabla 15-2:** Límites críticos de las concentraciones de metales pesados en suelo agrícola.

Metal pesado	EU Estándar	US Estándar	OMS	Rangos en un suelo no contaminado
	(mg/kg)			
Hg	-	-	0.001-0.04	0.01-0.30
Cd	3.00	400	0.002-0.50	0.01-0.70
Cr	180	400	0.002-0.20	5-3000
Pb	300	300	0.30-10	2-200
Ni	-	75	0.10-5	10-1000

Fuente:(Ediene y Umoetok, 2017; Srivastava et al., 2017)

### 2.2.13. Calidad ambiental del recurso suelo de acuerdo a los criterios del TULSMA

En adelante se exhiben los criterios máximos permisibles establecidos por el TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente), Anexo 2, de acuerdo al tipo de uso de suelo en parámetros generales e inorgánicos.

**Tabla 16-2:** Criterios de calidad para remediación de suelos de uso agrícola de acuerdo al TULSMA

Parámetro	Unidades	Valor adecuado	Valor máx. en suelo agrícola
<b>Parámetros generales</b>			
<b>Conductividad</b>	µs/cm	200	200
<b>pH</b>	-	6 - 8	6 - 8
<b>Relación de adsorción de sodio (SAR)</b>	-	4*	5
<b>Parámetros inorgánicos</b>			
<b>Arsénico</b>	mg/kg	12	12
<b>Azufre (elemental)</b>	mg/kg	250	500
<b>Bario</b>	mg/kg	200	750
<b>Boro (soluble en agua caliente)</b>	mg/kg	1	2
<b>Cadmio</b>	mg/kg	0.5	2
<b>Cobalto</b>	mg/kg	10	40
<b>Cobre</b>	mg/kg	25	63
<b>Cromo total</b>	mg/kg	54	65
<b>Cromo VI</b>	mg/kg	0.4	0.4
<b>Cianuro</b>	mg/kg	0.9	0.9
<b>Estaño</b>	mg/kg	5	5
<b>Fluoruros</b>	mg/kg	200	200
<b>Mercurio</b>	mg/kg	0.1	0.8
<b>Molibdeno</b>	mg/kg	5	5
<b>Níquel</b>	mg/kg	19	50
<b>Plomo</b>	mg/kg	19	60
<b>Selenio</b>	mg/kg	1	2
<b>Vanadio</b>	mg/kg	76	130
<b>Zinc</b>	mg/kg	60	200

Fuente: («TULSMA\_ANEXO 2» 2015, p.17)

Nota: \* Concentración en peso seco del suelo

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Diseño de la investigación

La investigación se llevó a cabo a través de una metodología cuantitativa, donde se midieron variables físicas y químicas por técnicas analíticas que se explican en las secciones posteriores. Según la manipulación de variables, el nivel experimental alcanzado fue no experimental técnico - explicativo, pues no se manipularon las variables independientes. En este sentido, se estudió el tipo de suelo, por lo tanto, se lo caracterizó y describió a través de sus parámetros físico-químicos. Según el tipo de inferencia, la investigación fue hipotética-deductiva, porque los resultados se obtuvieron a partir de una muestra particular y por medio de la deducción se obtuvo una muestra representativa de la población. En tanto que, según el periodo temporal el estudio fue transversal dado que todas las variables fueron medidas una sola vez; y, se trató a las muestras de forma independiente.

#### 3.2. Ubicación del sitio de estudio

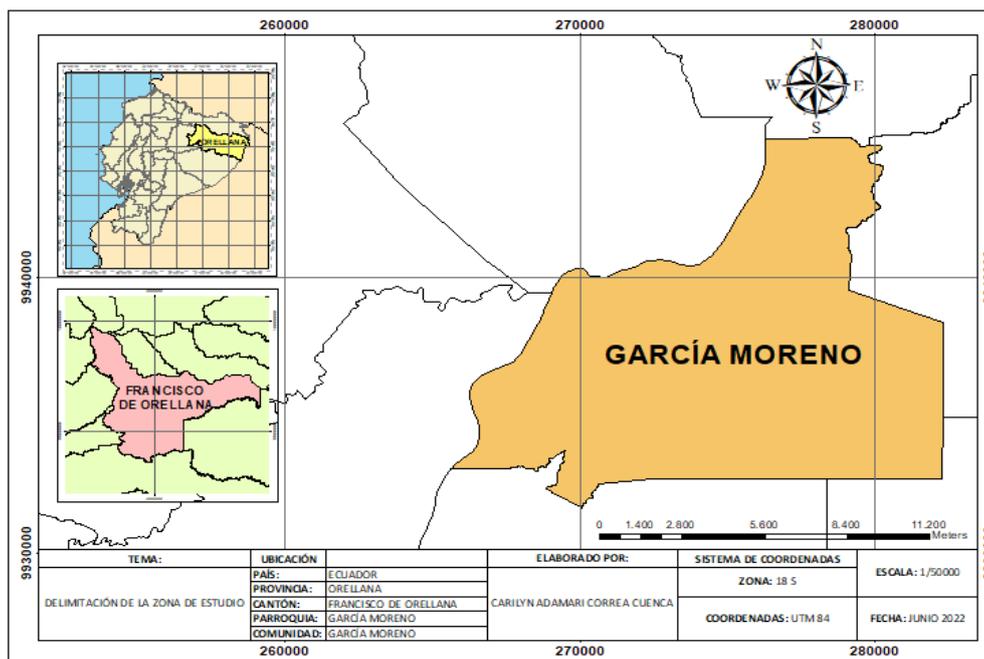
##### 3.2.1. Ubicación

La zona de estudio es la cabecera de la parroquia García Moreno, en el cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, al nororiente de la Región Amazónica Ecuatoriana (coordenadas S 36'33,81'' y 33'41,57''; y, O 59'1,62'' y 3'57,77'') como se grafica en la Figura 1-3. El área parroquial ocupa una superficie total de 131 719 Km<sup>2</sup> (Consultor, 2020, p.24). Los límites de la parroquia son:

**Tabla 17-3:** Límites de la parroquia García Moreno

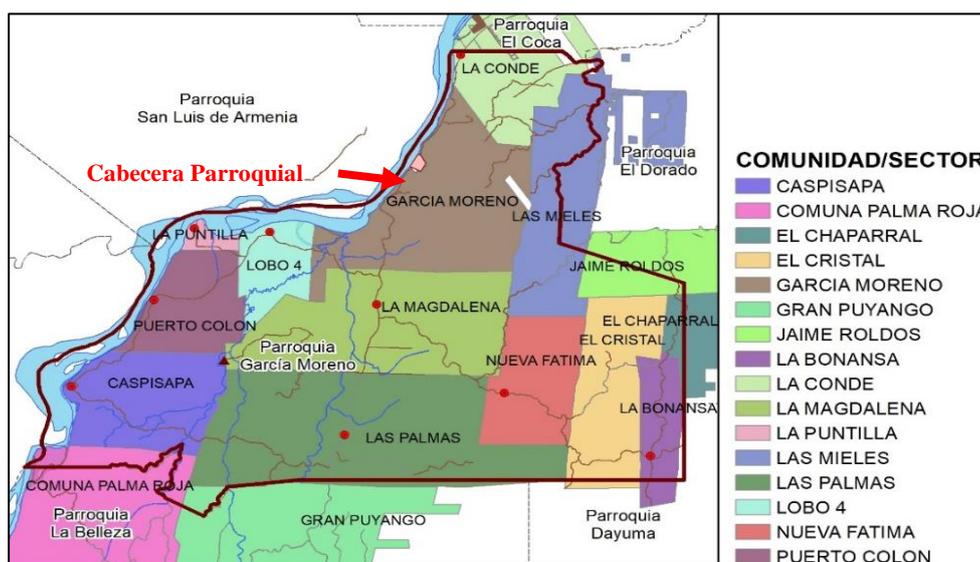
LÍMITES POLÍTICO-ADMINISTRATIVOS	
NORTE	Parroquia Urbana El Coca - barrio Flor de Oriente; Río Napo y Parroquia San Luis de Armenia
SUR	Parroquia La Belleza y parroquia Dayuma
ESTE	Parroquia El Dorado Y parroquia Dayuma
OESTE	Río Napo, y administrativamente con el Cantón Loreto (parroquia Puerto Murialdo).

Fuente: (Consultor, 2020, p.25)



**Ilustración 1-3:** Mapa de localización parroquial

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.



**Ilustración 2-3:** Localización de la comunidad García Moreno

Fuente: SIGTIERRAS, 2015

### 3.3. Identificación y selección de puntos de muestreo

La parroquia García Moreno tiene grandes limitaciones para el desarrollo agro productivo. Sin embargo, también posee grandes potencialidades vinculadas al recurso bosque, el cual provee servicios ecosistémicos y productos no maderables. Aunque en contraposición, se fomentan de forma importante las actividades agropecuarias, debido a la inexistencia de políticas públicas tanto locales como nacionales que garanticen el desarrollo socio-económico de las poblaciones



En la zona de estudio se seleccionaron ocho fincas dedicadas exclusivamente a la agricultura, de las cuales siete se ubicaban de forma cercana a los mecheros, mientras que la restante se encuentra más alejada, con la finalidad de reconocer la incidencia de los mecheros dentro de la comunidad. Así, se recopiló información cartográfica (coordenadas tomadas con GPS), del tipo de vegetación circundante y relativa al manejo del suelo de las fincas: tipos de cultivos, cultivos previos, problemas agrícolas de la zona y fertilización. De igual manera, se emplearon preguntas directas realizadas a los propietarios de las fincas sobre los principales problemas de los cultivos, siendo el tipo de suelo el principal causante. Finalmente, para localizar y delimitar las áreas de muestreo se realizó un recorrido con los dueños, considerando las recomendaciones citadas en el protocolo del INIAP, de modo que se registró la información en una libreta de campo.

### **3.4. Selección de indicadores**

En el presente trabajo se usó los indicadores establecidos en la metodología conocida como Conjunto Mínimo de Datos MDS, la cual es propuesta por (Pierzynski et al., 2005; citados en González, 2009). Puesto que, este conjunto se define en base a juicio de expertos o a un método estadístico. La selección se realizó con el fin de evadir limitaciones financieras, de tiempo y colinealidad (Bünemann et al., 2018; Oliver et al., 2013), ya que los indicadores debían alinearse con el objetivo final del proyecto técnico. Además, tenían que ser accesibles (facilidad de muestreo, medición e interpretación), reproducibles y sensibles a los cambios de gestión o uso de la tierra.

El resto de indicadores estudiados en este trabajo son dinámicos, en consecuencia, admiten cambios y su manejo en el tiempo. Y es fundamental monitorearlos porque pueden ejercer restricciones en el rendimiento de los cultivos, es decir que tienen una relación directa con la fertilidad del suelo (Muñoz, 2018, pp.48-50). Adicionalmente se estudiaron los niveles de metales pesados como indicadores de la calidad ambiental del suelo, puesto que esto también limitan la aptitud agrícola de las fincas, así como la seguridad alimentaria de los productos cultivados (Prieto Méndez et al., 2009: pp.30-31).

De este modo, los indicadores seleccionados permitieron generar una propuesta para mejorar la gestión del suelo estudiado a partir del monitoreo de su calidad. En este orden se analizaron 1 indicador en campo, en laboratorio: 3 indicadores físicos y 7 indicadores químicos de acuerdo a protocolos ya referenciados como se indica en la Tabla 18-3.

**Tabla 18-3:** Parámetros y metodologías usadas para el análisis de calidad del suelo

Tipo de parámetro	Parámetro	Unidad	Método usado	Fuente
Físicos	Estructura	Variable cualitativa	Evaluación Visual de la Estructura del Suelo y categorización	(Luters y Salazar, 2000: pp.24-26)
	Textura	% de arcilla, limo, arcilla	Bouyoucos con Pirofosfato de Sodio (laboratorio)	Laboratorio INIAP
	Humedad	%	Método gravimétrico $H = \frac{a - b}{b - c} * 100\%$ a = masa en g del suelo seco al aire + recipiente b = masa en g del suelo seco a 105°C + recipiente c = masa en g del recipiente	(Consulting, 1993, párr.24-25)
	Color		Cartas Munsell	(Villaseñor, 2016, pp.60-61)
Químicos	Potencial de hidrógeno (pH)	-	Potenciómetro Suelo: Agua, 1:2,5	Laboratorio INIAP
	Conductividad eléctrica	Us/cm	Conductímetro. Pasta saturada	Laboratorio INIAP
	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	cmol/kg	Método del Acetato de Amonio 1N. pH 7, absorción atómica	Laboratorio INIAP
	Macronutrientes: Nitrógeno total Fósforo disponible Potasio disponible	% ppm	Kjendahl- colorimetría Olsen modificado, pH = 8,5	Laboratorio INIAP
	Micronutrientes: Hierro Cobre Manganeso Zinc	mg/kg	Absorción atómica, Olsen modificado, pH = 8,5	Laboratorio INIAP
	Materia orgánica	%	Método de oxidación por peróxido de hidrógeno (agua oxigenada)	Laboratorio INIAP
	Metales pesados	mg/kg	Espectrometría	Laboratorio ESPOCH-SEDE ORELLANA

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

### 3.5. Muestreo

El muestreo de suelo se realizó en ocho fincas agro-productivas dentro de la comunidad García Moreno, los días 26 y 27 de junio del 2022 acorde al protocolo del INIAP y tomando en cuenta las recomendaciones de (Mendoza y Espinoza, 2017: pp.20-22). Las muestras se etiquetaron con la fecha y la codificación indicad en la Tabla 19-3. Se almacenaron dentro de un costal en un lugar fresco durante 4 días hasta que fueron enviadas al laboratorio para su respectivo análisis.

**Tabla 19-3:** Codificación de las muestras

Codificación Finca (Propietario)	Codificación Muestra compuesta	Codificación Submuestras	Puntos GPS Submuestras (Zona 18 S)	Altitud (msnm)
Gorki Correa	F1	Sf1	275187.3 E 9941161.2 N	275.2
		Sf2	275180.8 E 9941161.2 N	275.3
		Sf3	275175.2 E 9941164.8 N	275.4
		Sf4	275169.3 E 9941170.2 N	275.5
		Sf5	275179.6 E 9941172.2 N	275.56
		Sf6	275167.3 E 9941161.2 N	275.6
		Sf7	275165.8 E 9941161.3 N	275.61
		Sf8	275187.3 E 9941161.4 N	275.0
		Sf9	275187.3 E 9941161.2 N	276.4
		Sf10	275187.3 E 9941161.2 N	277.3
		Sf11	275187.3 E 9941161.2 N	277.5
		Sf12	275187.3 E 9941161.2 N	277.8
		Sf13	275187.3 E 9941161.2 N	279.2
		Sf14	275187.3 E 9941161.2 N	279.4
		Sf15	275187.3 E 9941161.2 N	279.7
Alejandro Correa	F2	Sf1	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf2	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf3	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf4	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf5	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf6	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf7	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf8	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf9	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf10	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf11	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf12	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf13	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf14	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
		Sf15	275298.7 E 9941050.6 N	299.1
J.C	F3	Sf1	276189.4 E 9940940.3 N	292
		Sf2	276189.4 E 9940940.3 N	292.1
		Sf3	276189.4 E 9940940.3 N	292.2
		Sf4	276189.4 E 9940940.3 N	299.1
		Sf5	276189.4 E 9940940.3 N	299.1
		Sf6	276189.4 E 9940940.3 N	299.1
		Sf7	276189.4 E 9940940.3 N	299.1
		Sf8	276189.4 E 9940940.3 N	299.1
		Sf9	276189.4 E 9940940.3 N	299.1
		Sf10	276189.4 E 9940940.3 N	299.1

		Sf11	276189.4 E 9940940.3 N	299.1
		Sf12	276189.4 E 9940940.3 N	299.1
		Sf13	276189.2 E 9940940.4 N	299.1
		Sf14	276189.4 E 9940940.3 N	299.1
		Sf15	276189.3 E 9940940.0 N	299.1
M.C	F4	Sf1	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf2	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf3	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf4	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf5	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf6	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf7	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf8	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf9	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf10	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf11	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf12	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf13	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf14	275743.9 E 9941603.8 N	272
		Sf15	275743.9 E 9941603.8 N	272
H.C	F5	Sf1	275632.6 E 9941493.1 N	276
		Sf2	275632.6 E 9941493.1 N	276.1
		Sf3	275630.5 E 9941494.6 N	276.2
		Sf4	275629.8 E 9941494.7 N	276.2
		Sf5	275632.6 E 9941493.1 N	276.3
		Sf6	275632.6 E 9941493.1 N	276.4
		Sf7	275632.6 E 9941493.1 N	276.4
		Sf8	275632.6 E 9941493.1 N	276.5
		Sf9	275632.6 E 9941493.1 N	276.6
		Sf10	275632.6 E 9941493.1 N	276.6
		Sf11	275632.6 E 9941493.1 N	277.6
		Sf12	275632.6 E 9941493.1 N	277.7
		Sf13	275632.6 E 9941493.1 N	278.8
		Sf14	275632.6 E 9941493.1 N	279.2
		Sf15	275632.6 E 9941493.1 N	280.6
F.C	F6	Sf1	275354.2 E 9941642.2 N	275
		Sf2	275355.0 E 9941642.2 N	275.2
		Sf3	275353.1 E 9941651.3 N	272.3
		Sf4	275352.2 E 9941652.2 N	273
		Sf5	275351.0 E 9941653.9 N	273.5
		Sf6	275350.8 E 9941655.6 N	273.6
		Sf7	275349.5 E 9941657.5 N	273.7
		Sf8	275348.6 E 9941658.3 N	274

		Sf9	275347.4 E 9941659.4 N	274.5
		Sf10	275347.2 E 9941659.9 N	274.9
		Sf11	275345.0 E 9941660.2 N	275
		Sf12	275342.8 E 9941662.7 N	276
		Sf13	275341.7 E 9941663.2 N	277
		Sf14	275340.6 E 9941665.7 N	278
		Sf15	275335.5 E 9941667.3 N	278.9
D.C	F7	Sf1	275409.9 E 9941493.1 N	276
		Sf2	275409.9 E 9941493.1 N	276
		Sf3	275409.9 E 9941493.1 N	276
		Sf4	275409.9 E 9941493.1 N	276
		Sf5	275409.9 E 9941493.1 N	276.5
		Sf6	275409.9 E 9941493.1 N	276.6
		Sf7	275409.9 E 9941493.1 N	276.7
		Sf8	275409.9 E 9941493.1 N	277
		Sf9	275409.9 E 9941493.1 N	277
		Sf10	275409.9 E 9941493.1 N	277.2
		Sf11	275409.9 E 9941493.1 N	277.4
		Sf12	275409.9 E 9941493.1 N	277.5
		Sf13	275409.9 E 9941493.1 N	277.6
		Sf14	275409.9 E 9941493.1 N	278
		Sf15	275409.9 E 9941493.1 N	278.7
A.C	F8	Sf1	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf2	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf3	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf4	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf5	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf6	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf7	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf8	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf9	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf10	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf11	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf12	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf13	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf14	275855.1 E 9941935.6 N	295
		Sf15	275855.1 E 9941935.6 N	295

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

### 3.5.1. Análisis en campo

#### 3.5.1.1. Determinación de la estructura

Para la determinación de la estructura del suelo se realizó in situ, siguiendo el procedimiento citado en Tabla 18-3.

### **3.5.2. Análisis de laboratorio**

El análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Ciencias Básicas y Especialización de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), sede Orellana y en los laboratorios del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). El procedimiento previo a la determinación de los parámetros fue el siguiente: Se colocó  $\frac{3}{4}$  de muestra en una bandeja etiquetada; luego, se removió la materia orgánica (ramas, hojas, entre otras); se trituro y homogenizó la muestra en un mortero; al final, se tamizó con un colador.

#### **3.5.2.1. Determinación de color**

Las muestras tamizadas se colocaron en toallas absorbentes debidamente rotuladas (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7 y F8). Con ayuda de las tablas de Munsell se verificó el color del suelo en función de sus tres elementos básicos, que son: el tono, el brillo y la intensidad.

#### **3.5.2.2. Determinación de la humedad**

Primero se rotuló y pesó la caja Petri, y se colocó 10 g de muestra tamizada y posteriormente se las ubicó dentro de la estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Una vez transcurrido el tiempo se pesó las muestras secas con la caja Petri. Finalmente se aplicó la fórmula correspondiente para determinar el porcentaje de humedad (Ver en la Tabla 18-3).

#### **3.5.2.3. Determinación de metales pesados**

Se pesaron 3 g de muestra tamizada, la cual se colocó en cajas pequeñas de aluminio, y luego se vertió en un matraz aforado de 250 ml. Con ayuda de la pipeta se añadieron 1 ml de agua destilada, 7 ml de ácido nítrico al 69%, 21 ml de ácido nítrico al 37% y mezclar, se dejó reposar en la cabina de flujo laminar por 16 horas. Dentro de la cabina se ubicó la plancha de calentamiento y sobre esta las muestras, por lo cual se tuvo que ir regulando la temperatura hasta producir el reflujo, durante 2 horas, posterior a esto se dejó enfriar a temperatura ambiente, de tal manera que se precipite.

Se filtró el líquido sobrenadante por gravedad con papel filtro de 150 mm en un vaso de precipitación, el cual se recogió en un matraz volumétrico de 100 ml, mientras que el residuo del papel filtro se lavó con 5 ml de HNO<sub>3</sub> a 0.5 mol/L y se volvió a filtrar. Luego se llevó el matraz a la línea de aforo con agua destilada, de tal manera ya estuvieron listas para ser analizadas. Se prepararon las curvas de calibración para cada metal a determinar y finalmente se analizaron mediante la utilización del espectrofotómetro de absorción atómica.

**Tabla 20-3:** Materiales, herramientas y reactivos

Actividad	Material, herramienta o reactivo
Identificación y selección de puntos de muestreo	Libreta de campo y computadora.
Muestreo	Libreta de campo, esfero, rotulador, fundas herméticas, celular (GPS y cámara fotográfica), pala cuadrada, machete, balde de plástico (20 L), saco plástico, metro, 15 estacas.
Análisis de campo	Pala, libreta de campo, esfero, cámara fotográfica, hojas guía.
Análisis de laboratorio	Toallas absorbentes, Tablas Munsell.
	Cajas Petri, rotulador negro permanente, espátula, balanza de precisión, estufa.
	Papel aluminio, espátula, rotulador negro permanente, matraz aforado de 250 ml, matraz aforado de 100 ml, pipeta graduada, guantes, vasos de precipitación de 100 ml y 50 ml, papel filtro de 150 mm, balanza de precisión, plancha de calentamiento, cabina de flujo laminar, Espectrofotómetro de absorción atómica, agua destilada, ácido nítrico al 37%, ácido nítrico al 69%, solución estándar de: mercurio, cromo, cobre, plomo, cadmio.

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

### 3.6. Integración cuantitativa de los indicadores de la calidad del suelo de ocho fincas de la comunidad García Moreno

Se usó el programa Excel versión 2019 para graficar los porcentajes o valores tabulados de los resultados obtenidos de los indicadores estudiados individualmente. Pero también, se realizó una evaluación cualitativa en laboratorio (color, textura, humedad, metales pesados) y en campo o in situ (estructura). El resto de los indicadores admitían un análisis interpretativo a través de índices (Castillo et al., 2021: pp.2-4). De tal forma que, para categorizar la calidad del suelo de las ocho fincas pertenecientes a la comunidad García Moreno, se usaron los cálculos para normalizar los datos propuesto por Cantú et al.( 2007: p.176). Por lo tanto, se realizó la normalización de cada indicador en base a una escala de 0 a 1, con dos condiciones que se explican en la siguiente tabla:

**Tabla 21-3:** Criterios y fórmulas para normalización de indicadores de calidad de suelo

Si el parámetro (lmax) que representa la situación de mejor calidad de suelo	Si el parámetro (lmax) que representa la situación de peor calidad de suelo
<b>Valor normalizado del indicador es:</b>	
$V_n = 1$	$V_n = 0$
$V_n = \frac{l_m - l_{min}}{l_{max} - l_{min}}$	$V_n = 1 - \frac{l_m - l_{min}}{l_{max} - l_{min}}$
<b>Donde:</b>	
– $V_n$ = Valor normalizado	

- $I_m$  = Medida del indicador
- $I_{min}$  = Valor mínimo
- $I_{max}$  = Valor máximo

**Fuente:** (Cantú et al., 2007: p.176)

**Realizado por:** Correa, Carilyn, 2022.

Para la incorporación de los valores máximos y mínimos se usaron los rangos y umbrales reportados por el TULSMA, otros se encuentran en la sección 2.2.12, y, específicamente para el pH se usó el rango determinado por Cantú et al. (2007: p177), pues ellos hacen consideraciones particulares para este indicador, según lo recomienda la literatura (Prieto-Méndez et al., 2013; Cantú et al., 2007). Además, Gonzales, ya indicaba cuando considerar que el límite de un indicador es mejor, lo que permitió decidir cómo normalizar cada una de las variables. Entonces, de acuerdo a las condiciones ya mencionadas: si el valor máximo del indicador ( $I_{max}$ ) corresponde a la mejor situación de calidad de suelo, el valor normalizado será,  $V_n = 1$ , y si el valor  $I_{max}$  corresponde a la peor situación de calidad de suelo, el valor normalizado será,  $V_n = 0$ . Luego, de la normalización se procedió a realizar un promedio entre los valores de cada indicador. Esto con el fin de establecer un índice lineal de calidad de suelo y así poder categorizarlo de acuerdo a lo planteado por el mismo autor, como se explica en la tabla a continuación:

**Tabla 22-3:** Índice de la calidad del suelo

Clase	Escala	Índice de calidad del suelo
I	0.80-1.00	Muy alta calidad
II	0.60-0.79	Alta calidad
III	0.40-0.59	Moderada calidad
IV	0.20-0.39	Baja calidad
V	0-0.19	Muy baja calidad

**Fuente:** (Cantú et al., 2007: p.176)

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Resultados de la caracterización físico-química de los suelos

##### 4.1.1. Resultados de indicadores físicos

###### 4.1.1.1. Estructura

Acorde con la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (Luters y Salazar, 2000: pp.24-26); los suelos de las fincas F1, F2, F5 y F7 tienen suelo con agregados tipo granular, mientras que F4, F6 y F8 son de tipo bloque. Y, F3 carece de agregados, siendo de tipo masivo. Las clases de los suelos granulares van de finos a medios, con tamaños que alcanza los 5 mm. Las clases de los suelos tipo bloques van de muy fino a fino, con tamaños inferiores a 5 mm hasta los 10 mm. Y como se evidencia en la Tabla 1-4, siete de los 8 suelos se encuentran dentro de tres grados de agregación: F2 y F8 tienen estructuras débiles; F4, F6, y F7 tienen estructuras moderadas; F1 y F5 tienen estructuras fuertes, y F3 no tiene estructura.

**Tabla 23-4.** Estructura del suelo de ocho fincas de la comunidad García Moreno de acuerdo al tipo, clase y grado de agregación.

Muestra	Tipo	Clase	Tamaño (mm)	Grado de agregación
F1	Granular	Fina	< 2	Fuerte
F2	Granular	Fina	< 2	Débil
F3	Masivo	Masa coherente	-	No hay agregados
F4	Bloque	Muy Fino	< 5	Moderada
F5	Granular	Medio	2 - 5	Fuerte
F6	Bloque	Fino	5 - 10	Moderada
F7	Granular	Fina	< 2	Moderada
F8	Bloque	Fino	5 - 10	Débil

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

La estructura tiene que ver con funciones importantes como la conservación de la productividad biológica, el flujo de agua, gases, el flujo de solutos, crecimiento de raíces, reciclaje y almacenar nutrientes. Las estructuras granulares (F1, F2, F5 y F7) suelen relacionarse con suelos superficiales, especialmente con los que cuentan con alto contenido de materia orgánica. Además,

permiten una rápida infiltración y promueven la productividad biológica. En tanto que, la estructuras laminares frecuentemente indican compactación (USDA, 2008, p.2). Por otra parte, los suelos con estructura de bloques resistente a la penetración y el movimiento del agua, son frecuentes en suelos con acumulación de arcilla. Hernández et al., (2010: p.14) explican que las caolinitas tienen a formar estructuras granulares cuando el suelo es virgen o conservado, pero si es cultivado tiene estructura terrosa o grumosa. Mientras que en el horizonte B pueden formarse bloques subangulares en suelos conservadores y angulares en suelos hondamente cultivados. El tamaño de los agregados da noción de la calidad biológica del suelo. Así, se indica que los suelos con tamaños de partículas mayores a 2000  $\mu\text{m}$  se sustentarán en redes de raíces e hifas con alto contenido orgánico, mayor al 2%. Estos son los casos de las fincas F4, F5, F6 y F8. Los agregados menores a 2000  $\mu\text{m}$ . se unen en cambio por varios materiales cementantes como materiales orgánicos, óxidos cristalinos y aluminosilicatos (Hernández et al., 2010: pp.16-17). Al mismo tiempo se conoce que el grado de agregación está relacionado con la textura. Por lo tanto, los suelos arenosos tienen bajos grados de agregación, resultando poco fértiles dada la baja capacidad de retención de agua (F2). Lo opuesto ocurre con los suelos arcillosos (Chirinos y Pérez, 1998: pp.109-113).

#### *4.1.1.2. Textura*

Según la Tabla 24-4, las muestras de suelo de las ocho fincas se agrupan en cuatro clases texturales. Las fincas F1, F3 y F7 han sido clasificados como suelos de tipo franco; F8 es de tipo arcilloso; F5 y F6 son suelos de tipos franco – arcilloso, y F2 y F4 corresponden a suelos de tipo franco-arenoso-arcilloso. Conforme con las directrices para la gestión sostenible de suelos tropicales de tierras altas, establecidas por Moody y Cong, (2008: pp.47-48), las fincas con suelos francos tendrían moderada capacidad de retención de agua disponible para las plantas, no tienen restricción en el crecimiento de raíces; aunque pueden ser propensos a la compactación. Por el contrario, en los suelos totalmente arcillosos; el crecimiento de las raíces está restringido, son altamente susceptibles a la compactación mecánica y tienden a acumular agua provocando anegamientos. El grupo franco-arcilloso exhibiría entonces propiedades intermedias. Y el último grupo tendría características muy similares a las del suelo franco, con la distinción de ser más susceptible a la compactación. Finalmente, como indican Kome et al., (2019: pp.155-156) la importancia de la fracción arcillosa del suelo, se debe a que, a través de eventos como la disolución-precipitación y adsorción- desorción, lo que influye fuertemente en la fertilidad del suelo al controlar la disponibilidad de nutrientes (secuestro y estabilización de materia orgánica), acidez del suelo y población microbiana (formación de micro-agregados).

**Tabla 24-4:** Clases texturales de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla

Muestra	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase textural del suelo
F1	36	47	17	Franco
F2	48	21	21	Franco-Areno-Arcilloso
F3	42	35	23	Franco
F4	54	15	31	Franco-Areno-Arcilloso
F5	40	33	27	Franco-Arcilloso
F6	32	37	21	Franco-Arcilloso
F7	30	47	23	Franco
F8	28	23	49	Arcilloso

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

#### 4.1.1.3. Humedad

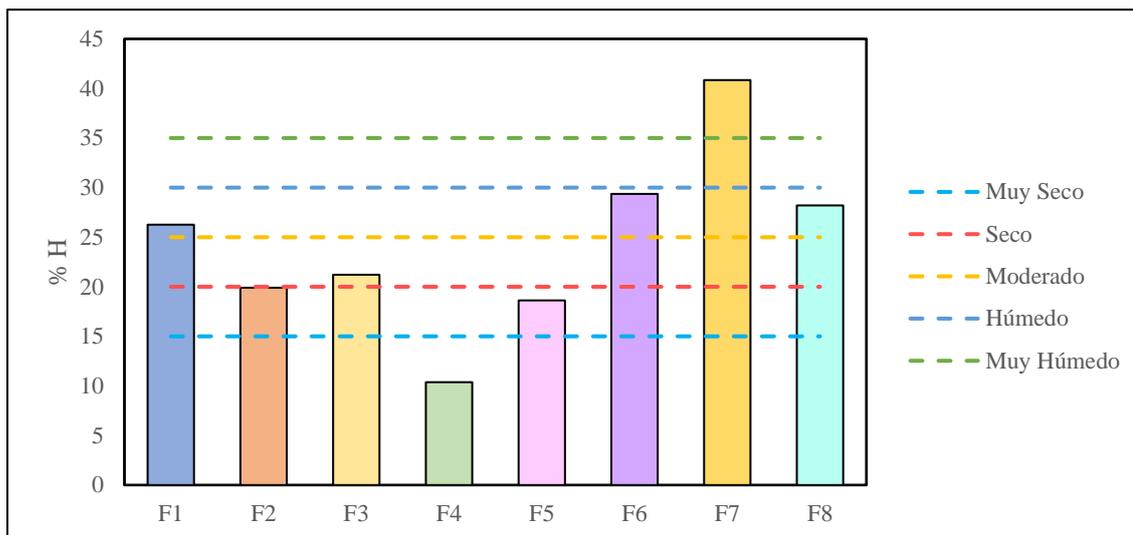
Según la Tabla 25-4, la finca F7 presentó suelo con condiciones muy húmedas, con un 40.85%. Las fincas F6, F8 y F1 mostraron suelos en condiciones húmedas, con 29.37, 28.21 y 26.26% correspondientemente. F3 exhibió humedad moderada, con un 21.20%. Mientras que, F2 y F5, poseen suelos secos; y F4 un suelo muy seco, con 19.90, 18.62 y 10.38 %, respectivamente. Las parcelas F2, F4, y F5, requerirán particular atención en cuanto a este parámetro. Además, se debe tomar en cuenta lo que señalan Lynch et al., (2012: pp.332-335), y es que el contenido de agua del suelo tiene una influencia importante en el crecimiento de las raíces. Por lo tanto, una disponibilidad de agua sub-óptima ocasionará una mayor asignación de biomasa a las raíces a expensas de los brotes. Pero también, podría suceder que el agua no cubra completamente el perfil del suelo haciendo que proliferen plantas con raíces poco profundas.

**Tabla 25-4:** Datos de laboratorio para el cálculo de humedad

Muestra	Peso caja Petri (g)	Peso de la muestra de suelo inicial (g)	Peso de caja Petri y suelo (g)	Peso seco de suelo (g)	Humedad (%H)
F1	53.12	10	61.04	7.9	26.26
F2	52.30	10	60.64	8.34	19.90
F3	52.03	10	60.28	8.25	21.21
F4	52.23	10	61.29	9.06	10.38
F5	51.88	10	60.31	8.43	18.62
F6	52.49	10	60.22	7.73	29.37
F7	52.38	10	59.48	7.10	40.85
F8	52.29	10	60.09	7.80	28.21

Nota: Peso seco de suelo (g) = Peso de caja Petri y suelo (g) - Peso caja Petri (g); %H= ((a-b)/(b-c)) \*100%

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.



**Ilustración 9-4:** Resultados del contenido de humedad en ocho fincas de la cabecera cantonal de García Moreno

**Realizado por:** Correa, Carilyn, 2022.

#### 4.1.1.4. Color

En la Tabla 26-4 se demuestra que los suelos F1, F5 y F8 fueron rojos oscuros; F2 de coloración café amarillenta; F3 y F4 fueron de color café; F6 presentó coloración café rojiza oscura y F7 mostró un tono de rojo débil. El color rojo indica la aparición de óxidos de hierro (hematita, ferrihidrita), que al hidratarse adquieren un color amarillo (lepidocrocita, limonita, goettita). La coloración café denota materia orgánica en descomposición, conocida como humus, con altas cantidades de nutrientes. El color del humus disminuye con la profundidad y los pigmentos de hierro se hacen más notorios. Es decir que, F3, F4, y F6 serían aptos para la agricultura de acuerdo al color (Jordan, 2014, párr.5-10).

**Tabla 26-4:** Resultados del color del suelo de acuerdo al sistema de Munsell

Muestra	Nro. Tabla	Valor	Croma	Color en inglés	Color en español
F1	10R	3	6	Dark red	Rojo oscuro
F2	10YR	5	8	Yellowish brown	Café amarillento
F3	7.5YR	4	4	Brown	Café
F4	10YR	4	3	Brown	Café
F5	10R	3	3	Dusky red	Rojo oscuro
F6	2.5YR	3	4	Dark reddish Brown	Café rojizo oscuro
F7	2.5YR	4	2	Weak red	Rojo débil
F8	10R	3	2	Dusky red	Rojo oscuro

**Realizado por:** Correa, Carilyn, 2022.

#### 4.1.2. Resultados de indicadores químicos

##### 4.1.2.1. Potencial de hidrógeno, pH

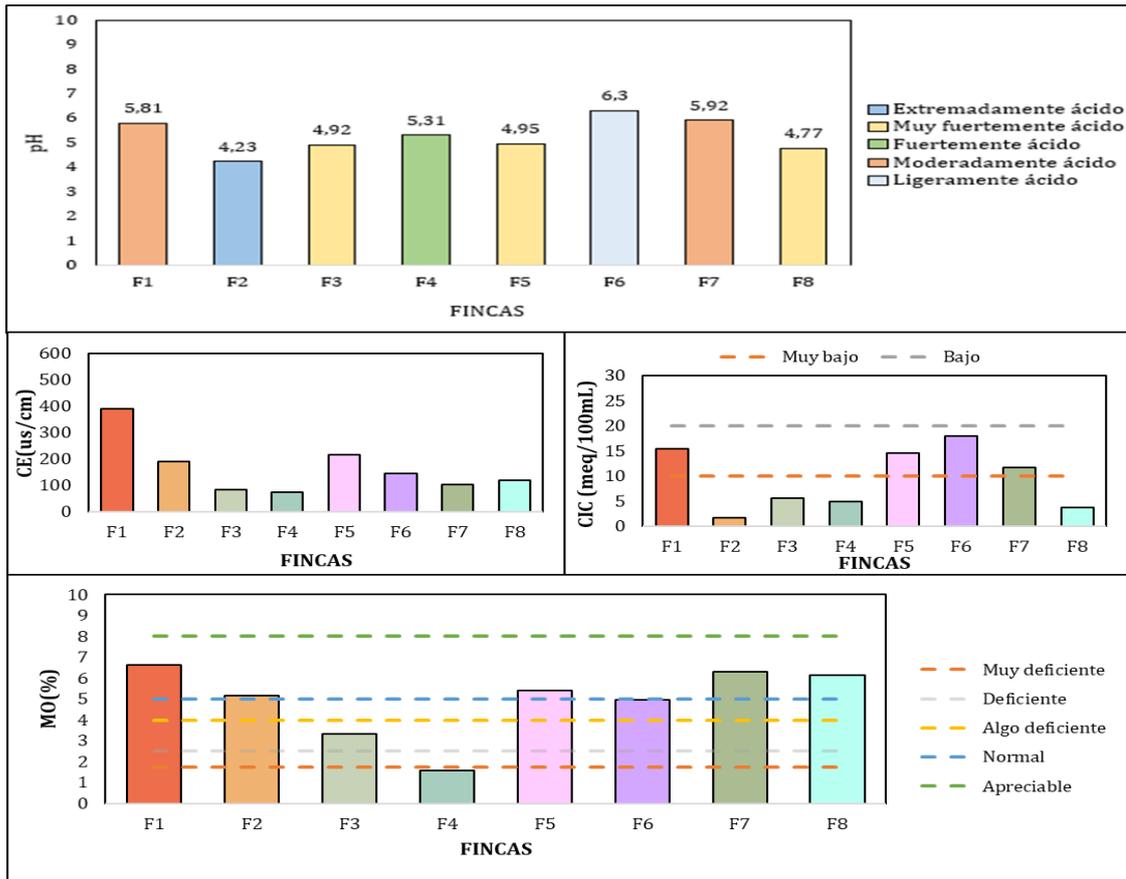
De acuerdo al TULSMA los valores adecuados de pH de suelos para uso agrícola, oscilan entre 6 y 8 («TULSMA\_ANEXO 2» 2015, p.17). Basados en ese rango, únicamente la finca F6, sería apta para tal fin, y la finca F7, con un valor muy próximo a 6. El resto de suelos serán categorizados como extremadamente ácidos (F2); muy fuertemente ácidos (F3, F5, y F8); fuertemente ácidos (F4) y ligeramente ácidos (5.81). Conforme lo cual, seis de las ocho fincas requieren algún tipo de manejo para la regulación del pH.

**Tabla 27-4:** Resultados de pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica.

Muestra	pH	Conductividad Eléctrica (µs/cm)	CIC (meq/100mL)	Materia Orgánica (%)
F1	5.81	390.04	15.49	6.62
F2	4.23	191.04	1.64	5.15
F3	4.92	83.90	5.54	3.32
F4	5.31	72.50	4.85	1.59
F5	4.95	215.40	14.59	5.40
F6	6.30	144.40	17.91	4.95
F7	5.92	103.10	11.67	6.32
F8	4.77	119.20	3.76	6.16
<b>Promedio</b>	<b>5.28</b>	<b>164.95</b>	<b>9.43</b>	<b>4.94</b>
<b>D.E.</b>	<b>0.69</b>	<b>103.75</b>	<b>6.20</b>	<b>1.70</b>

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

van Vliet et al., (2015: pp.206-207) señalan que el rango óptimo de pH para el cacao es entre 6 y 7.5, aunque puede tolerar ciertos niveles de acidez. Pero, todo ello a un costo ya que puede conducir a niveles tóxicos de ciertos elementos como el Al, Fe, Mn y, a menor disponibilidad de P y Mg; causando retraso en el crecimiento y bajo rendimiento. Además, de que en sí mismo, el cultivo de cacao causa que a lo largo de una década disminuya significativamente el pH. En este orden, en ninguna de las fincas podría cultivarse cacao, a menos que haya una corrección del mismo y un monitoreo constante, debido a los antecedentes ya mencionados de este cultivo en particular. De igual manera sucede en el caso del café (Zhao et al., 2018: pp.1-3) y el banano (INIAP, 2014, párr.2). Por otra parte, el maíz puede crecer entre 5.5 y 7.8, aunque se recomienda que esté entre 6.5 y 7.8, porque en suelos muy ácidos o muy básicos hay riesgo de toxicidad o deficiencia de ciertos elementos como Fe, Mn y Zn (Sikalengo, 2016, pp.7-8).



**Ilustración 10-4:** Valores de pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica.

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

#### 4.1.2.2. Conductividad eléctrica

Con respecto a la conductividad eléctrica, el TULSMA establece un valor de  $200 \mu\text{s}/\text{cm}$  como óptimo en suelos de uso agrícola («TULSMA\_ANEXO 2» 2015, p.17). Como se aprecia en la tabla 27-4 y la Ilustración 13-4, todos los suelos se encuentra en la categoría de no salinos, con rangos de CE de entre  $83,90$  a  $390,04 \mu\text{s}/\text{cm}$  (González, 2009, p.47). Donde solo los suelos de las fincas F2 y F5, se aproximan al valor óptimo ya mencionado. Ahora bien, altos valores de CE están asociados a altos niveles de nitrato y otros nutrientes del suelo (P, K, Ca, Mg, Mn, Zn y Cu) y a medida que la CE se eleva, los procesos microbianos, incluida la respiración y la nitrificación, disminuyen. En consecuencia, elevados valores de CE inhiben el desarrollo de las plantas (USDA, 2011, p.1). Solo la muestra de la finca F1 supera el valor óptimo, pero no alcanza a llegar a la categoría de ligeramente salino. Aunque la literatura hace énfasis en que los suelos no salinos con alta CE, tienen más nutrientes disponibles que los que tienen un valor CE más bajo (USDA, 2014b, p.1). Este parámetro químico también tiene relación con la textura del suelo. Es así que, aquellos suelos arcillosos de partículas más pequeñas conducen más corriente eléctrica que las partículas de arena y limo más grandes.

#### *4.1.2.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)*

En la Tabla 27-4 y la Ilustración 13-4 se evidencia que las fincas F2, F3, F4 y F8 se encuentra en la categoría de muy baja capacidad de intercambio catiónico. Mientras que, las fincas F1, F5, F6, y F7 se categorizan como suelos bajos en CIC, es decir que, necesitan un menor aporte de materia orgánica en comparación con los primeros, pero aun así, el suelo sigue siendo pobre (Garrido, 1994, p.28). Es prudente recordar que la CIC es una medida de la cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales o componentes orgánicos del suelo (arcilla, MO o sustancias húmicas), representando la cantidad de cationes que las superficies del suelo pueden retener. Los cinco cationes intercambiables más abundantes en el suelo son calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), potasio ( $\text{K}^{+1}$ ), sodio ( $\text{Na}^{+1}$ ) y aluminio ( $\text{Al}^{+3}$ ) (FAO, 2007, párr. 1). Entonces, los suelos con baja CIC se caracterizan por poseer: altos contenidos de arena y bajo contenido de arcilla, bajos porcentajes de materia orgánica, baja capacidad de retención de agua, bajo valor de pH (ácidos). Estos, son ligeramente amortiguados y no pueden resistir fácilmente los cambios de pH u otros cambios químico. Por ello, los nutrientes se lixivian muy fácilmente y ocasionan que la productividad sea baja. Además, ciertos tipos de arcilla como la caolinita, tendrán una CIC mucho más baja que la montmorillonita o la vermiculita (arcillas de alta expansión y contracción). Mientras que, el pH del suelo a medida que aumenta; se vuelve más básico, aumenta el número de cargas negativas en los coloides, lo que aumenta los sitios de intercambio iónico y la CIC (Anónimo, 2012, pp.8-9). Las características texturales (% de arcilla menores al 50%) y de pH valores menores a 7) antes mencionadas fueron evidenciadas en las secciones previas en las tablas 24-4 y 27-4, lo que sustenta la existencia de bajos niveles de CIC en las muestras de estudio.

#### *4.1.2.4. Materia orgánica*

En cuanto al contenido de materia orgánica, la finca F4 es muy deficiente en este material. El contenido de F3 se encuentra categorizado como algo deficiente. F6 se categoriza como normal. Y, F1, F2, F7 y F8, fueron categorizados como apreciables en contenido de M.O. Sin embargo,(Spink et al., 2010: p.16), resalta que muchos autores indica que 2% podría ser un umbral mínimo, por debajo del cual el suelo presentaría problemas.

#### *4.1.2.5. Macronutrientes*

En base a la Tabla 28-4, los niveles de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) en las fincas F4 y F6 se hallan en la categoría media. El nivel de nitrógeno del resto de fincas se categoriza como alto con concentraciones que oscilan entre 53.3 a 96.3 ppm.

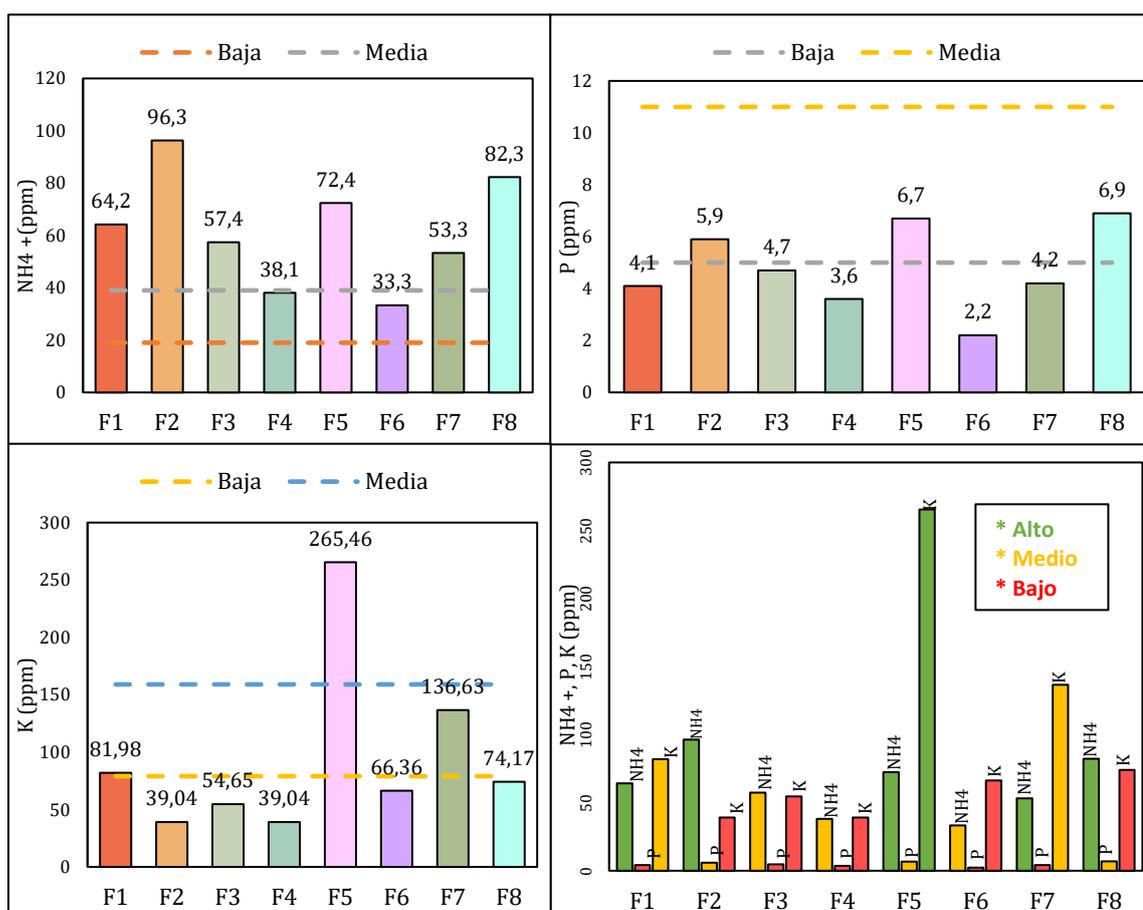
**Tabla 28-4.** Resultados de las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$ , P y K

Muestra	$\text{NH}_4^+$ (ppm)	P (ppm)	K (meq/100mL)	K (ppm)
F1	64.2	4.1	0.21	81.98
F2	96.3	5.9	0.10	39.04
F3	57.4	4.7	0.14	54.65
F4	38.1	3.6	0.10	39.04
F5	72.4	6.7	0.68	265.46
F6	33.3	2.2	0.17	66.36
F7	53.3	4.2	0.35	136.63
F8	82.3	6.9	0.19	74.17
<b>Promedio</b>	<b>62.16</b>	<b>4.79</b>	<b>0.24</b>	<b>94.67</b>
<b>DE</b>	<b>21.36</b>	<b>1.62</b>	<b>0.19</b>	<b>75.69</b>

\*Nota: 1 meq= 1 mmol /valencia; PM(K)= 39.0983 mg/mmol; 1 mL=0.1L; 1 ppm=1mg/L

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

El Ilustración 14-4 muestra que los niveles de fósforo (P) en los suelos de las fincas F1, F3, F4, F6 y F7 son bajos. Pero, en F2, F5, y F8, el P se encasillan en el nivel medio. Los niveles de potasio (K), se encontró que las fincas F2, F3, F4, F6 y F8, contienen bajas concentraciones de este elemento. F1 y F7 en cambio, tienen niveles medios. Y solo F5 un nivel alto.



**Ilustración 11-4:** Resultados de los niveles de macronutrientes (N, P, K) de las ocho fincas de la cabecera parroquial de García Moreno

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

Los resultados obtenidos en este estudio (Ilustración 14-4) sobre nitrógeno disponible concuerdan con lo reportado por (Bravo et al., 2017: pp.7-9). Este grupo de investigación encontró concentraciones medias y altas de  $\text{NH}_4^+$  en suelos con diferentes usos en las provincias amazónicas de Napo y Pastaza. Los valores oscilan entre 24.73 a 97.94 mg/kg, donde el valor inferior corresponde a tierras de chacra con producción diversificada entre cacao, yuca, plátano y otros; pero, el valor máximo corresponde a tierras monocultivadas con naranajilla en espacios abiertos recientemente deforestados (bosques secundarios o bosques degradados) y con uso de agroquímicos. En ese mismo estudio un valor intermedio fue exhibido por la muestra de bosque secundario, con 60.70 mg/kg de  $\text{NH}_4^+$ . Así mismo, otra investigación desarrollada por el INIAP, encontró que la mayoría (86.76%) de los suelos estudiados en Orellana y Sucumbíos tienen contenido medio y alto. Aunque, señalan que, para el caso particular de parcelas con pasturas, el N es bajo en la capa superficial con valores promedio de 13.3 – 15.38 ppm. Lo que sugiere que, dichos suelos probablemente han sufrido sobreexplotación agrícola, de tal forma que la disponibilidad de este elemento ha llegado al límite. También, exponen que, el cacao y café son cultivos que exigen altos contenidos de N (Virginio et al., 2014: pp.84-95).

Con respecto al fósforo, los autores antes mencionados, también confirman lo hallado en este trabajo: suelos predominantemente con bajos a medianos niveles de fósforo (5.73 a 18.28ppm). Algo parecido sucede con el potasio, con valores reportados de entre 0.06 a 0.29 meq/100ml. INIAP explica que, para el caso de pasturas, la reposición de este elemento es insuficiente, debido a que se la realiza una sola vez al año, en adición a la exigencia de estos elementos por parte de los cultivos de cacao y café (Virginio et al., 2014: pp.34-84). Siendo así que, la caracterización de macroelementos descrita es coherente con el tipo de suelos que existen en la Región Amazónica Ecuatoriana: Inceptisoles, con bajas concentraciones de P, K, Ca y altos niveles de Fe (Bravo et al., 2017: pp.3-9).

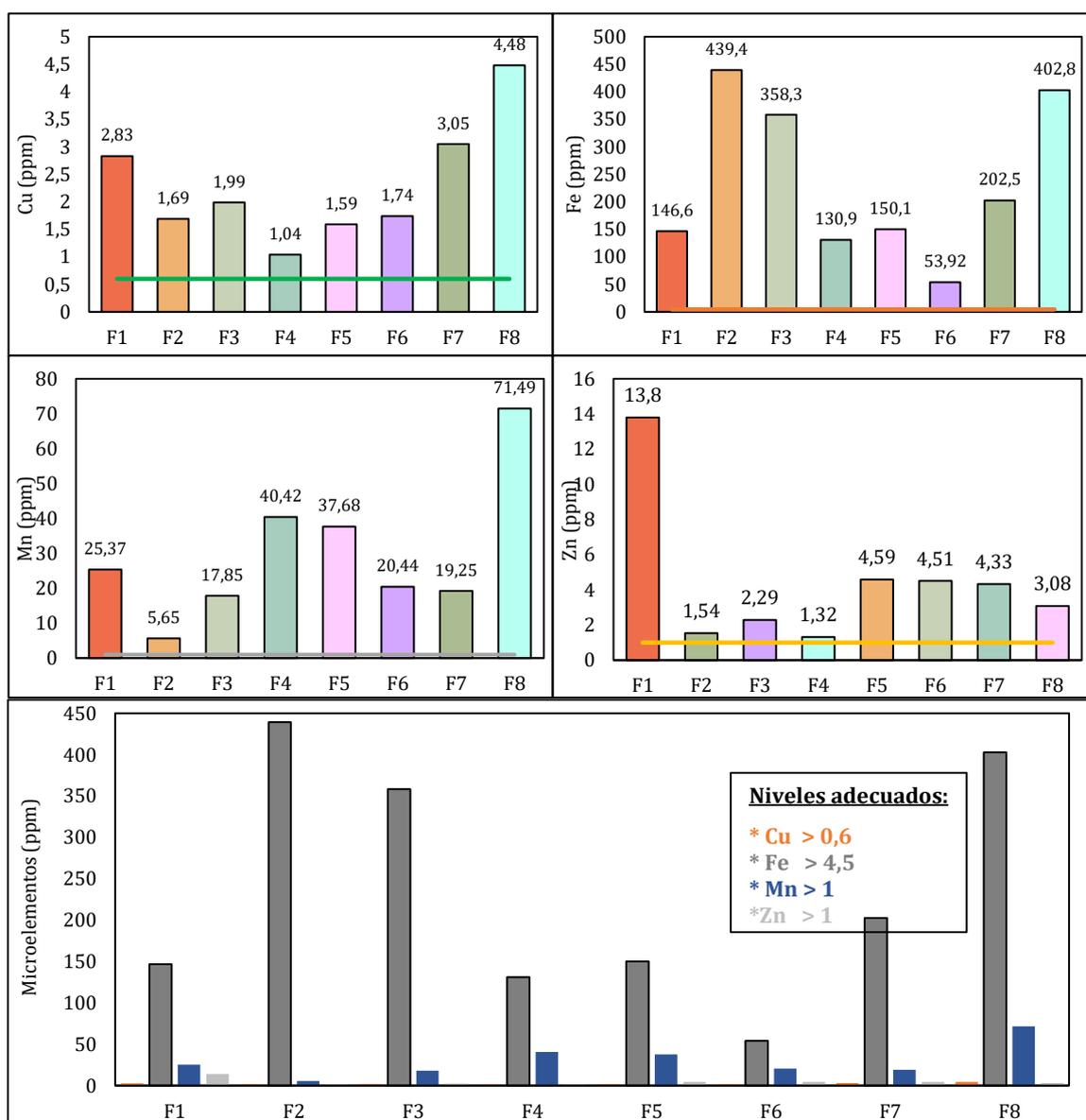
#### *4.1.2.6. Micronutrientes*

Según la Tabla 29-4, los suelos de todas las fincas tienen niveles adecuados de cobre (Cu), en un rango de 1.04 a 4.48 ppm. Los niveles de hierro (Fe) alcanzan concentraciones de entre 53.92 a 439.40 ppm, superando incluso los niveles adecuados (>4.5ppm). Con referencia al manganeso (Mn), las concentraciones oscilan entre 5.65 a 71.49 ppm, excediendo las concentraciones adecuadas (>1ppm). Para el zinc (Zn), los rangos van de 1.32 a 4.59 ppm, no obstante, el límite adecuado es >1ppm (Russell, 1992; Elston, 1999).

**Tabla 29-4.** Resultados de las concentraciones de Cu, Fe, Mn y Zn

Muestra	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
F1	2.83	146.60	25.37	13.80
F2	1.69	439.40	5.65	1.54
F3	1.99	358.30	17.85	2.29
F4	1.04	130.90	40.42	1.32
F5	1.59	150.10	37.68	4.59
F6	1.74	53.92	20.44	4.51
F7	3.05	202.50	19.25	4.33
F8	4.48	402.80	71.49	3.08
Promedio	2.30	235.57	29.77	4.43
D.E.	1.10	143.85	20.20	4.00

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.



**Ilustración 12-4:** Resultados de los niveles de micronutrientes (N, P, K) ocho fincas de la cabecera parroquial de García Moreno

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

En el caso del hierro hay que prestar particular atención, ya que las concentraciones de Fe cuando llegan a superar los 300 ppm se consideran tóxico para la mayoría de cultivos vegetales (Heeren, 2021, p.7). Es decir, que cuando los suelos se acidifican disminuye la disponibilidad de nutrientes haciendo más disponible el Fe como también otros metales. De igual forma sucede con el Mn que posee altas concentraciones sobre el valor adecuado que se establece (>1ppm).

#### 4.1.2.7. Metales pesados

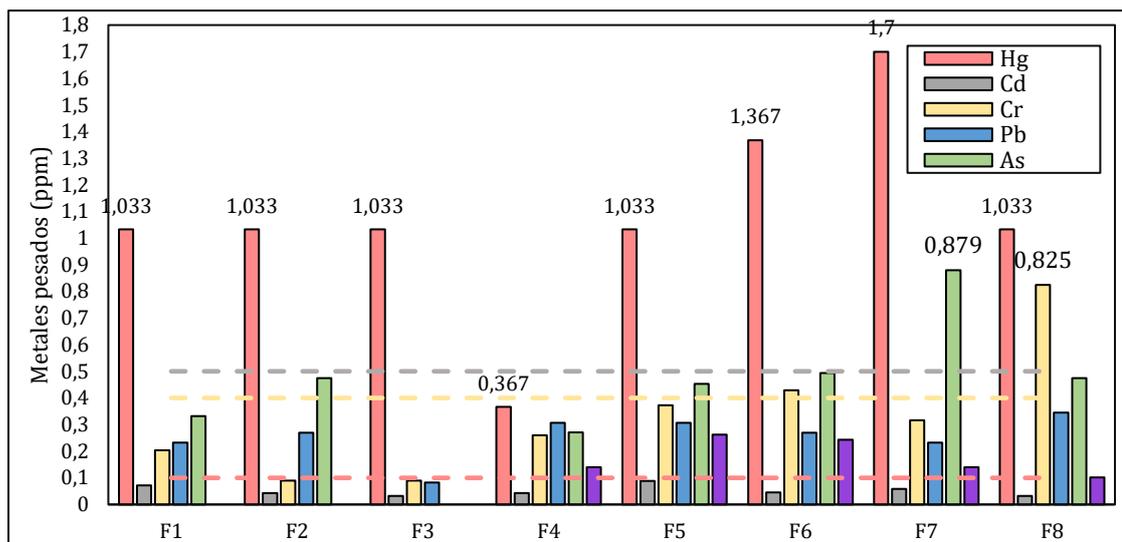
Según la Tabla 30-4 los suelos de las todas las fincas están contaminadas con mercurio (Hg), puesto que, superan los límites adecuados para suelo agrícola (0.1 ppm). Las concentraciones de cadmio (Cd) en las muestras de las ocho fincas se hallan en un rango de 0.032 a 0.089 ppm, lo cual indica que no existe contaminación por este metal, de acuerdo a la literatura, ya que la concentración adecuada de este metal es de 0.5 ppm. Para el cromo (Cr), solamente las fincas F6 y F8, muestran contaminación por este metal, superando los niveles adecuados que son de 0.4 ppm. El plomo (Pb), arsénico (As) y cobalto (Co), se encuentran por debajo de sus límites permitidos: 19,12 y 10 ppm. En el caso del Pb, la finca F3, presenta niveles indetectables de este metal. Y, para el cobalto sucede lo mismo en los suelos de las fincas F1, F2 y F3 («TULSMA\_ANEXO 2» 2015, p.17).

**Tabla 30-4:** Resultados de las concentraciones de metales pesados

Muestra	Hg (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)	Co(ppm)
F1	1.033	0.072	0.203	0.232	0.332	*
F2	1.033	0.043	0.090	0.270	0.474	*
F3	1.033	0.032	0.090	0.082	*	*
F4	0.367	0.043	0.260	0.307	0.271	0.140
F5	1.033	0.089	0.373	0.307	0.453	0.262
F6	1.367	0.045	0.429	0.270	0.494	0.243
F7	1.700	0.059	0.316	0.232	0.879	0.140
F8	1.033	0.032	0.825	0.345	0.474	0.102
<b>Promedio</b>	1.07	0.05	0.32	0.26	0.42	0.11
<b>D.E.</b>	0.38	0.02	0.24	0.08	0.25	0.11

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

Nota: El asterisco (\*) representa niveles de concentración no detectables.



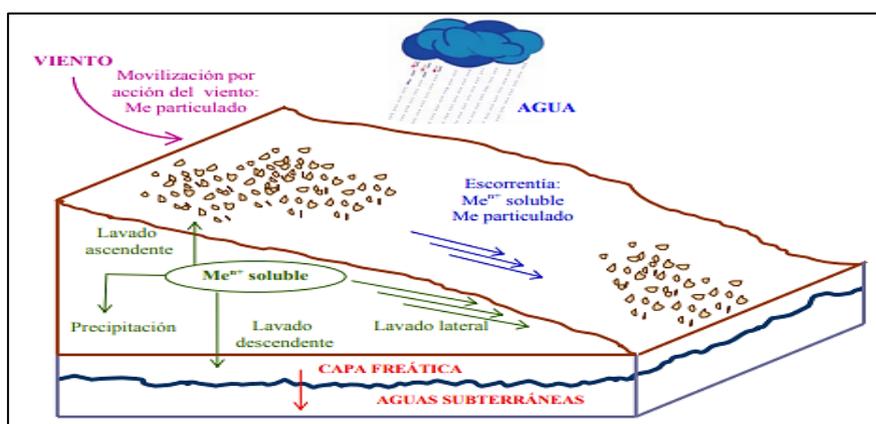
**Ilustración 13-4:** Resultados de los niveles de los metales pesados presentes en suelos de ocho fincas de la cabecera cantonal de García Moreno

**Realizado por:** Correa, Carilyn, 2022.

**Nota.** Las líneas entrecortadas representan los límites permitidos de acuerdo al TULSMA. Aquellos metales que no muestran una línea entrecortada, poseen límites admitidos superiores a la escala del gráfico. Es decir que, no indicaran contaminación.

Los resultados obtenidos sobre el mercurio, indican presencia de niveles tóxicos por este metal. El cual, de acuerdo con Resabala (2008, pp.29-34) una de las principales fuentes de contaminación de este metal es la extracción y uso de combustibles, en la que destaca la extracción, refinación uso de gas natural (mecheros), seguido de pesticidas y finalmente la quema de residuos agrícolas a cielo abierto e incendios forestales. En el caso del cromo, tiende a ser liberado al quemar gas, petróleo o carbón (Lasluiza, 2022, p.9) , así como también al ser usado como aditivo en la industria petrolera. Dichas actividades son comunes dentro de la zona de estudio.

Sin embargo, en la finca F4, hay bajas concentraciones de estos metales pesados, lo cual puede ser por la presencia de dos piscinas de peces que se encuentra ubicada en una zona baja, ocasionando que exista su movilidad debido al relieve colinado medio de las fincas. Tal como se puede apreciar en la Ilustración 17-4.



**Ilustración 14-4:** Movilización natural de metales pesados

**Fuente:** (Jimenez y Párraga, 2011: p.148)

En donde se puede apreciar que los agentes causantes de la movilización de los metales es el agua y el viento. Para el caso de las piscinas tendría un lavado lateral desde zonas topográficamente más altas hacia zonas topográficamente más bajas, o un arrastre disuelto por las aguas de escorrentía, por la superficie del suelo. Además hay que señalar que la mayoría de los elementos traza, con la excepción de Mo, As y Se, son más móviles en condiciones de acidez del suelo (Jimenez y Párraga, 2011: p.149); por lo que esta última característica es predominante en todas las fincas estudiadas.

Con respecto al cadmio, se encuentra dentro del límite permisible, mismo que puede ser resultado de las plantaciones de cacao en las fincas. De acuerdo con (Chávez et al., 2016: pp.58-60) este tipo de cultivos pueden absorber el cadmio (Cd) en grandes cantidades presentes en el suelo y posteriormente acumularlo en sus almendras (semillas). De igual forma sucede con el maíz, tal como lo exponen (Munive Cerrón et al., 2018: pp.552-556), esta planta puede absorber los metales pesados del suelo como el plomo y cadmio en la raíz, pero en menor cantidad. Cabe señalar que el Cd es proveniente tanto de fuentes naturales (actividad volcánica) como antropogénicas (fertilizantes fosfatados).

#### ***4.1.3. Resultados de la integración cuantitativa de los indicadores de la calidad del suelo de ocho fincas de la comunidad García Moreno***

De acuerdo a lo planteado por Cantú et al. (2007: p.176) los suelos de las fincas F2, F3, F4, se encuentran dentro de la clase IV, con una calidad baja; los suelos de las fincas F1, F6, F7, F8 pertenecen a la clase III, con una calidad moderada; y la finca F5 se coloca en la clase II, con una calidad alta de acuerdo a las tablas 31-4 y 32-4. En esta línea, (Bravo et al., 2021: pp.6-10) reportan índices de calidad de suelo agrícola de entre 0.30 a 0.45; lo que ya ha sido corroborado en este trabajo. Mientras que, el suelo de uso ganadero exhibió índices aproximados de entre 0.25 y 0.35; y, el suelo boscoso presentó un índice cercano al 0.45. Es decir que, según la categorización de Cantú, los suelos de uso agrícola exhiben entre una baja a moderada calidad de suelo en la región amazónica.

Pero, es necesario notar que a pesar de que los índices se aproximan numéricamente, los métodos de análisis son disímiles. El grupo de investigación de Bravo usó cinco indicadores distintos a los de esta investigación: contenido de Zn, porosidad aparente, carbono orgánico total, densidad aparente y cantidad de hojarasca. El cálculo se obtuvo con valores de ponderación distintos a los de un promedio de dichos indicadores (Goyes et al., 2021: pp.9-10). Y entonces, en base a la categorización de estos suelos amazónicos se recomienda que gracias a las características estructurales y climáticas es necesario aplicar manejo silvopastoril y uso de cultivos con leguminosas, fertilización con roca fosfórica y compost, para minimizar los impactos ambientales de la actividad antropogénica (erosión), ya sea agrícola o pastoril (Torres et al., 2017: p.261).

Ante los contrastes metodológicos es preciso indicar que, no hay una estandarización sobre el cálculo los índices, el uso de las ponderaciones o el número y tipo de indicadores empleados para cada análisis (Sarmiento et al., 2018: p.131). Así es que cabe señalar que otros autores obtienen los índices de calidad de suelo agrupando los parámetros químicos y físicos; reduciendo la cantidad de variables para obtener un conjunto mínimo de datos o mediante el análisis de componente principales. Este último permite ponderar los indicadores que tiene mayor impacto en la calidad del suelo y en lugar de promedio de los indicadores, usan los valores de ponderación (Wilson, 2017, pp.94-96). Además, la literatura señala que es posible modificar la escala de categorización del suelo, ya que dependiendo de los límites máximos o mínimo establecidos se pueden observar mediciones de los estándares que se encuentran por fuera de los rangos referenciales. Y así, lo hacen Estrada et al., (2017: pp.819-820) al establecer una escala con siete categorías, donde se considera un rango entre -1 a 0 para suelos con déficits, y un rango de 1 a 1.3 para suelos con excesos (Estrada et al., 2017: p.820). En el presente estudio se consideró que, aquellos índices que tomaron valores menores que cero, eran equivalentes a 0, y los que superaron 1, tomarían dicho valor.

**Tabla 31-4:** Cálculo de los índices lineales para calidad del suelo de ocho fincas.

Variable	Indicador	pH	CE (µs/cm)	CIC (meq/100mL)	% MO	NH4+ (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Índice
<b>Lmax</b>	<b>Máximo</b>	7	2000.0	45.0	10.0	40	12.0	160.0	
<b>Lmin</b>	<b>Mínimo</b>	5.5	200.0	20.0	2.6	20	6.0	80.0	
<b>Lm</b>	F1	5.8	390.0	15.5	6.6	64.2	4.1	82.0	
	F2	4.2	191.0	1.6	5.2	96.3	5.9	39.0	
	F3	4.9	83.9	5.5	3.3	57.4	4.7	54.7	
	F4	5.3	72.5	4.9	1.6	38.1	3.6	39.0	
	F5	5.0	215.4	14.6	5.4	72.4	6.7	265.5	
	F6	6.3	144.4	17.9	5.0	33.3	2.2	66.4	
	F7	5.9	103.1	11.7	6.3	53.3	4.2	136.6	
	F8	4.8	119.2	3.8	6.2	82.3	6.9	74.2	
<b>Vn</b>	Tipo de Vn	1.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
	F1	0.2	0.9	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	0.4
	F2	0.0	1.0	0.0	0.4	1.0	0.0	0.0	0.3
	F3	0.0	1.0	0.0	0.1	1.0	0.0	0.0	0.3
	F4	0.0	1.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.3
	F5	0.0	1.0	0.0	0.4	1.0	0.1	2.3	0.7
	F6	0.5	1.0	0.0	0.3	0.7	0.0	0.0	0.4
	F7	0.3	1.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.7	0.5
	F8	0.0	1.0	0.0	0.5	1.0	0.2	0.0	0.4

**Realizado por:** Correa, Carilyn, 2022.

**Nota:** Los valores máximos y mínimo de los indicadores se establecieron en base a los rangos referenciales descritos en el Capítulo III. sección 3.5 Rangos y categorías para cada parámetro. El tipo de valor normalizado (Vn)= 1 ó 0. se estableció de acuerdo a lo indicado en la sección 3.6. Ya que implica diferenciación en el uso de las fórmulas que allí se describen.

**Tabla 32-4:** Interpretación de los índices de calidad de suelo

Muestra / Finca	Índice lineal	Calidad de suelo
F1	0.4	Moderada
F2	0.3	Baja
F3	0.3	Baja
F4	0.3	Baja
F5	0.7	Alta
F6	0.4	Moderada
F7	0.5	Moderada
F8	0.4	Moderada

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

González et al., (2019: pp.18-19) estudiaron la calidad de suelos mono cultivados con caña de azúcar en la provincia de Pastaza. Comparativamente, se observa que con respecto al parámetro de humedad las categorías que se obtuvieron en la presente investigación variaron entre suelos muy secos a muy húmedos (10 al 40% de humedad), mientras que los autores mencionados describen únicamente suelos inundables. En cuando al pH, hay bastante correspondencia con los reportado por estos autores, ya que hay predominio de suelos ácidos (4.23 a 5.92). Otro contraste se produce porque los suelos de las fincas estudiadas mostraron suelos no salinos, a diferencia de los suelos de Pastaza. El contenido de materia orgánica fue mucho menor a lo informado en la provincia vecina, con contenidos que van desde lo deficiente a lo moderado (1.59 a 6.62%). Y con niveles bajo a moderadores de macronutrientes (N, P, K). No obstante, es ineludible notar que el deterioro de los suelos amazónicos se debe el manejo inadecuado de la práctica agrícola, en adición a tecnologías deficientes como lo ratifica y evidencia el grupo de investigación de González.

Con respecto a los metales pesados, Barraza et al., (2018: pp.106-108) estudiaron los metales pesados en fincas de las provincias de Orellana y Sucumbíos, en donde se exhibe especial preocupación ante las concentraciones de Cd en cacao y Pb en maní, puesto que superaron las recomendaciones de la FAO/OMS. También, observaron que, el Ba, V, Zn, Cr, Cu, Ni y Co excedían los límites ecuatorianos. Aunque indican que los bajos pH de los suelos tropicales, se correlacionan significativamente con las concentraciones de Ba, Cu, Co y Mn (Barraza et al., 2018: pp.110-112). En el caso de las ocho fincas y de acuerdo a los valores de normalización encontrados en la Tabla 30-4 se evidencia que pueden representar amenazas de contaminación por exceso de Fe, Mn y Hg. A 2003, en esta en la provincia de Orellana, Félix et al., (2003: pp.2-3) estudiaron la presencia de Pb (0.39-0.46), Cd (0.30 ppm) y Zn (10.94 ppm) en 4 fincas cacaoteras y 4 fincas cafetaleras dentro de un estudio a nivel nacional. pero sus resultados arrojan niveles permisibles de estos metales.

Particularmente estos elementos son de preocupación ya que varios de ellos son carcinogénicos, y aunque los estudios son incipientes, las explotaciones petrolera y minera no están bien

reguladas, de tal forma que solo en la provincia de Tena se han llegado a medir niveles de metales pesados que oscilan entre 200 a 700% del nivel permisible (Mestanza et al., 2022: p.13).

## **4.2. Propuesta de restauración del suelo**

### **4.2.1. Introducción**

Según la FAO y PNUMA, (2022: pp.32-35) la calidad del suelo es fundamental en un marco de seguridad alimentaria salud. Este provee de los nutrientes esenciales, agua, el oxígeno y el soporte para las raíces. Pero, también sirven como amortiguador para proteger a los cultivos o plantas de los cambios drásticos de temperatura. Por ello es que, actualmente es uno de los recursos críticos, con problemáticas complejas que incluyen: las prácticas agrícolas insostenibles; sobreexplotación de los recursos naturales, crecimiento demográfico y tasas aceleradas de degradación del suelo a nivel mundial (salinización). De tal forma que, la generación y recopilación de información sobre el suelo es necesaria. Para gestionar los recursos de tierras afectadas y que esto permita adecuar las bases de un manejo que abarque la gestión sostenible del suelo, riego-drenaje, y la selección de cultivos.

Vale recalcar que también es preciso regular las actividades industriales como minería, fundición, petróleo y manufactura. Las actividades directas o indirectamente relacionadas a estas industrias producen desechos ganaderos. municipales y lixiviados; plaguicidas, herbicidas, fertilizantes utilizados en la agricultura; así como elementos peligrosos (As, Pb y Cd). productos químicos orgánicos como PCB (bifenilos policlorados) y PAH (hidrocarburos aromáticos policíclicos) o residuos farmacéuticos como antibióticos o disruptores endocrinos plantean graves riesgos para la salud humana.

### **4.2.2. Objetivo**

#### **Objetivo general**

Mejorar la calidad de los suelos que no sean aptos para actividades agrícolas de ocho fincas de la cabecera cantonal de la parroquia García Moreno.

#### **Objetivos específicos**

- Proponer criterios para las prácticas de conservación de suelo en las fincas más degradadas.
- Proponer acciones de monitoreo y seguimiento ambiental que permita la evaluación y recuperación del suelo en las áreas afectadas.

#### **4.2.3. Resultados esperados**

La propuesta de restauración del recurso suelo pretende cumplir contribuir a la restauración de los suelos degradados con el propósito de recuperar su capacidad producción agrícola, a través de la aplicación de criterios y técnicas que se expondrán adelante. Lo que permitirá dar cabida al crecimiento y desarrollo de las plantaciones conforme al seguimiento y monitoreo, aumento en la cobertura vegetal, reducción de la escorrentía superficial, mejoramiento de la humedad y fertilidad del suelo. Y descartar aquellas fincas que no sean en un gran porcentaje incapaces de adaptarse a la actividad agrícola o que requieran o una fuerte inversión para este fin.

#### **4.2.4. Definiciones**

Después de identificar las condiciones del suelo y determinar las áreas donde se deben aplicar acciones de mejora, las opciones de mejores prácticas de manejo del suelo que pueden ser aplicado a fin de mejorar las condiciones actuales son las siguientes:

- **Enfoque 1:** No intervenir la vegetación y el suelo existentes. Proteger el recurso de la compactación y acumulación de sedimentos.
- **Enfoque 2:** Intervenir el suelo: quitar, apilar y preservar la capa superior del suelo durante la nivelación, reemplazar y hacer enmiendas (sustancias añadidas) antes de plantar.
- **Enfoque 3:** Modificar el subsuelo del sitio en el lugar.
- **Enfoque 4:** Reemplazar el suelo existente: importar una mezcla de tierra vegetal de textura de suelo adecuada. contenido de materia orgánica. pH y profundidad para cumplir con los estándares (Young y Van Seters, 2012: pp.19-20).

De cualquier forma, un tratamiento más personalizado puede combinar los distintos enfoques de acuerdo a los requerimientos y condiciones económicas del agro-productor interesado. Por esta razón se requieren criterios para la selección de las estrategias de manejo de suelo o remediación. A continuación, se definen los criterios que se consideraron en este trabajo para definir dichas estrategias que permitan corregir los valores de los indicadores que serían problemáticos. En Tabla 33-4 se consideraron siete criterios, 2 de ellos corresponden a la efectividad de la técnica, y 3 de los restantes conforman la viabilidad técnica. El puntaje total corresponde a 22 puntos que debe alcanzar la mejor opción. Los criterios se adaptados a partir del trabajo realizado por (Castillo, 2017, pp. 138-139).

**Tabla 33-4:** Categorización y puntuación de los criterios de selección de las acciones de manejo o remediación

Criterio	Categoría	Puntaje por categoría (ptos)	Puntaje Total (ptos)
<b>Rendimiento de la técnica</b>	≤ 50%		3
	<80%	1	
	≥80%	2	
	*Si tiene efectos secundarios, se penaliza restando 1 pto.	3	
<b>Efectividad de la técnica en el Tiempo</b>	Aplicación 1 sola vez	3	3
	Aplicación periódica	1.5	
<b>Costo total</b>	≤ 500		6
	<2500	6	
	≥ 2500	4	
	Para aplicación periódica se consideran el costo por 3 años.	2	
<b>In situ o ex situ</b>	In situ	2	2
	Ex situ	1	
<b>Insumos o equipamiento</b>	No especializado	2	2
	Especializado (Importación específica)	1	
<b>Personal</b>	No especializado	2	2
	Especializado	1	
<b>Financiamiento</b>	Estatal o gobiernos locales	4	4
	Propio o crediticio	2	
<b>Puntaje total</b>			<b>22</b>

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

Se decidió aplicar las técnicas con mayor puntaje, y cuando dos técnicas puntuaron de la misma forma, se eligió la técnica que mejor se adaptaba a las características particulares y diferenciales del suelo de cada finca.

#### 4.2.5. Identificación de problemáticas

En las Tablas 34-4 y 35-4 se realizó una identificación sistemática de las problemáticas específicas de cada indicador físico-químico y cada una de las fincas. Se llega a vislumbrar que 10 indicadores se encuentran alterados, ya sea porque el parámetro está bajo o deficitario; o porque se alcanzan concentraciones tóxicas de ciertos elementos.

Además, los índices obtenidos con los 5 indicadores correspondientes a un conjunto mínimo de datos (pH, CE, CIC, MO, N, K, P) indican que las fincas F2, F3 y F4 tienen calidad baja, F1, F6, F7, F8 calidad moderada: y F5 alta. Esto implica que en los suelos de calidad mejorada pueden tomarse acciones para hacerlos aptos para la actividad agrícola, siempre y cuando los valores de metales pesados no requieran remediación ambiental (Tabla 32-4 y 35-4).

**Tabla 34-4:** Identificación de problemática de acuerdo a indicadores de suelo

Variable	Indicador	% H	pH	CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	CIC ( $\text{meq}/100\text{mL}$ )	% MO	$\text{NH}_4^+$ (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Hg (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)	Co (ppm)
<b>lmax</b>	<b>Máximo</b>	30.0	8.0	2000.0	45.0	10.0	40.0	12.0	160.0	63.0	20.0	15.0	200.0	0.8	2.0	200.0	60.0	50.0	40.0
<b>lmin</b>	<b>Mínimo</b>	20.0	6.0	200.0	20.0	2.6	20.0	6.0	80.0	0.6	4.5	1.0	1.0	0.1	0.5	0.4	19.0	12.0	10.0
<b>Lm</b>	<b>F1</b>	26.3	5.8	390.0	15.5	6.6	64.2	4.1	82.0	2.8	146.6	25.4	13.8	1.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.0
	<b>F2</b>	19.9	4.2	191.0	1.6	5.2	96.3	5.9	39.0	1.7	439.4	5.7	1.5	1.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.0
	<b>F3</b>	21.2	4.9	83.9	5.5	3.3	57.4	4.7	54.7	2.0	358.3	17.9	2.3	1.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
	<b>F4</b>	10.4	5.3	72.5	4.9	1.6	38.1	3.6	39.0	1.0	130.9	40.4	1.3	0.4	0.0	0.3	0.3	0.3	0.1
	<b>F5</b>	18.6	5.0	215.4	14.6	5.4	72.4	6.7	265.5	1.6	150.1	37.7	4.6	1.0	0.1	0.4	0.3	0.5	0.3
	<b>F6</b>	29.4	6.3	144.4	17.9	5.0	33.3	2.2	66.4	1.7	53.9	20.4	4.5	1.4	0.0	0.4	0.3	0.5	0.2
	<b>F7</b>	40.9	5.9	103.1	11.7	6.3	53.3	4.2	136.6	3.1	202.5	19.3	4.3	1.7	0.1	0.3	0.2	0.9	0.1
	<b>F8</b>	28.2	4.8	119.2	3.8	6.2	82.3	6.9	74.2	4.5	402.8	71.5	3.1	1.0	0.0	0.8	0.3	0.5	0.1

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

**Nota:** De acuerdo al criterio de la autora se han establecido las siguientes categorías de color para identificar las problemáticas en cada finca.

**Color rojo:** Valores bajos o concentraciones deficientes

**Color verde:** Concentraciones dentro del rango aceptable

**Color gris:** concentraciones en exceso fuera del rango

Acorde con la Tabla 35-4 los problemas críticos en las fincas son:

**Tabla 35-4:** Resumen de las problemáticas identificadas en suelos de las ocho fincas de la comunidad García Moreno.

Finca	Calidad de acuerdo ICS (5 indicadores)	Problemática identificada
F1	Moderada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo pH</li> <li>• Exceso de Nitrógeno.</li> <li>• Bajo contenido de fósforo.</li> <li>• Excesivas concentraciones de Fe, Mn y Hg.</li> </ul>
F2	Baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos %H. pH y CE.</li> <li>• Exceso de Nitrógeno.</li> <li>• Bajo contenido de fósforo y potasio.</li> <li>• Excesivas concentraciones de Fe y Hg.</li> </ul>
F3	Baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos pH y CE.</li> <li>• Exceso de Nitrógeno.</li> <li>• Bajo contenido de fósforo y potasio.</li> <li>• Excesivas concentraciones de Fe, Mn y Hg.</li> </ul>
F4	Baja	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos %H. pH y CE.</li> <li>• Bajo contenido de MO, fósforo y potasio.</li> <li>• Excesivas concentraciones de Fe y Mn.</li> </ul>
F5	Alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos %H y pH.</li> <li>• Exceso de Nitrógeno y potasio.</li> <li>• Excesivas concentraciones de Fe, Mn y Hg.</li> </ul>
F6	Moderada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos CE.</li> <li>• Bajo contenido de MO, fósforo y potasio.</li> <li>• Excesivas concentraciones de Fe, Mn y Hg.</li> </ul>
F7	Moderada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exceso de %H.</li> <li>• Bajos CE.</li> <li>• Exceso de Nitrógeno.</li> <li>• Bajo contenido de fósforo.</li> <li>• Excesivas concentraciones de Fe, Mn y Hg.</li> </ul>
F8	Moderada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos pH y CE.</li> <li>• Exceso de Nitrógeno.</li> <li>• Bajo contenido de potasio</li> <li>• Excesivas concentraciones de Fe, Mn y Hg.</li> </ul>

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

La Tablas 32-4 y 35-4 permiten evidenciar que el índice calculado con los 5 parámetros es impreciso, puesto que los indicadores de metales pesados demuestran que el suelo presentaría toxicidad, disminuyendo la calidad ambiental del mismo. Por ello es que, independientemente del índice en las muestras de suelo de todas las fincas se observa problemas asociados a metales pesados. Incluso en la que se encuentra en la categoría de calidad alta. Y en ese orden es preciso invertir en más acciones de mejora o incluso remediación del suelo.

#### **4.2.6. Metodología**

Primero se determinaron las posibles acciones de manejo en base a la puntuación de las técnicas de manejo de suelo detallada en la Tabla 33-4. Es importante indicar que existe una vasta cantidad de técnicas que pueden ser evaluadas y comparadas, sin embargo, se valoraron las más promisorias y usadas para cada indicador.

**Tabla 36-4:** Criterios de selección de acciones de mejora o remediación de suelo

Indicador	Acción de enmienda o remediación	Efectividad (6/6)		Costos (6ptos)	Viabilidad técnica (6/6)			Financiamiento (4pt)	Calificación (22pt)	
		Rend. (3pt)	Tiempo (3p)		In situ o ex situ (2 pt)	Equipamiento (2 pt)	Personal (2ptos)			
pH  (USDA y NRCS, 2014: pp.1-2)	Uso de genotipos vegetales tolerantes a la acidez	2	1.5	4	1	2	2	4	16.5	
	Enmiendas calcáreas	3	1.5	4	2	2	2	4	18.5	
	Adición de MO	3	1.5	4	2	2	2	4	18.5	
Humedad  (FAO, 2017, p.7)	Aumento	Minimización de labranza y pastoreo.	2	1.5	6	2	2	2	2	17.5
		Riego por goteo programado o miro-aspersión	3	1.5	2	2	2	2	4	16.5.
		Cultivos adaptables*	3	3.0	6	1	2	2	4	21
		Cubiertas de suelo	3	3.0	4	2	2	2	2	18
		Recolección de agua	1	1.5	4	2	2	2	2	14.5
	Terrazas o tolas.	2	1.5	6	2	2	2	2	17.5	
	Disminución	Sistemas de drenaje superficiales /Subterráneos	3	1.5	4	2	1	1	4	16.5

		<b>Terraplenes, reservorios de retención, reservorios secos y canales de alivio</b>	1	1.5	4	2	2	1	2	18
<b>MO</b> (FAO, 2017, p.8)		<b>Estiércol de aves, porcino o vacuno (líquido)</b>	3	1.5	6	2	2	1	2	17.5
		<b>Bocashi</b> (Ramírez-Gerardo et al., 2021: pp. 152-156)	3	1.5	2	2	2	1	4	15.5
		<b>Compost</b>	3	1.5	2	2	2	1	4	15.5
		<b>Paja de trigo o residuos lecheros</b>	3	1.5	6	2	2	1	2	17.5
		<b>Raíces y hojas de leguminosas</b>	2	1.5	6	2	2	1	2	16.5
<b>Macronutrientes (N, P, K)</b> (USDA, 2013; FAO, 2017)		<b>Fertilizantes formulados</b>	3	1.5	4	1	2	1	4	16.5
		<b>Fertilizantes “naturales”</b>	2	1.5	6	2	2	1	2	16.5
<b>Metales pesados (Hg, Fe, Mn)</b> (Puschenreiter et al., 2005; Fabelo, 2019; Dhaliwal et al., 2020)		<b>Bioestimulación</b>	3	1.5	4	2	2	1	2	15.5
		<b>Fitorremediación</b>	3	3	4	2	2	1	2	17.0
		<b>Fijación Química (Biopolímeros)</b>	1	1.5	4	2	1	1	2	12.5
		<b>Encalamiento</b>	3	3	4	2	2	1	2	17.0
		<b>Biopilas</b>	3	1.5	2	1	1	1	2	11.5

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

**Notas:**

- Las escalas de ponderación se detallan de la sección definiciones, 4.24.
- Los cultivos adaptables (\*) pueden ser tolerantes a la desecación o la inundación.

**Tabla 37-4:** Acciones de implementación para la mejora y manejo de suelos de calidad muy baja a moderada en ocho fincas de la comunidad García Moreno

Indicador	Categoría problemática	Fincas	Acciones a ser implementadas
pH	Bajo	F1, F2, F3, F4, F5, F8	<p>Para los suelos que tiene pH ligeramente ácido o un valor muy cercano al óptimo se decide aplicar Materia Orgánica, y para los que son muy o extremadamente ácido se decido hacer la corrección con encalado.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcular los kg por Ha de cal agrícola a aplicar en cada finca, para corregir la acidificación. Se puede considerar que se debe alcanzar un pH crítico entre 6.2 y 6.5 (Dependiendo de los tipos de cultivos a trabajar, el más sensible al pH).</li> <li>• La fórmula es:  <math display="block">\text{Cal Agrícola kg/Ha} = (\text{pH crítico} - \text{pH actual}) * 6700 / \% \text{ de carbonato de calcio o hidróxido de calcio que contenga el producto comercial.}</math> <p>En esta fórmula el factor de multiplicación tomado en cuenta es para suelos rojos. El porcentaje se debe expresar en decimales.</p> <p><b>Ej:</b></p> <math display="block">\text{Cal Agrícola kg/Ha para F1} = (6.2 - 5.8) * 6700 / 0.99 = 2707 \text{ kg/Ha}</math> </li> <li>• La corrección en la acidez puede durar entre 6 a 8 años. Pero, entre los 3 a 6 años se pierde el 50% del efecto. Se debe volver a aplicar, pero solo la mitad de la dosis.</li> <li>• Se aplica de forma uniforme en los 20 cm superficiales de suelo, entre 3 a 6 meses antes de la siembra para que la cal pueda reaccionar con el suelo.</li> <li>• Esta aplicación impide la toxicidad del Mn que afecta a la parte aérea de las plantas.</li> <li>• Aumenta la disponibilidad de P y otros nutrientes que se presentan ante acidez excesiva; y aumenta la fijación de nitrógeno. Evita el lixiviado de K.</li> <li>• Facilita el laboreo en suelos arcillosos (Soprocal, 2019, pp.6-14).</li> </ul>
%H	Déficit	F2, F4, F5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar la disturbación del suelo minimizando la labranza, pastoreo y rotar los cultivos inclusive los de cobertura. Todo ello para mantener la porosidad del suelo y permitir la infiltración de agua.</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar cubiertas de suelo basadas en residuos cultivos anteriores, podas de árboles, cultivos de cobertura como forraje, barbecho, cubiertas vivas o barreras naturales (rompevientos), y líneas con residuos</li> <li>• Recolección de agua de lluvia para aumentar la disponibilidad de agua del suelo en el momento de la siembra.</li> <li>• Cuando se presente baja permeabilidad del subsuelo se puede cultivar en lomos de tierra o terrazas.</li> <li>• Captar agua y almacenarla estratégicamente en pozos, estanques, surcos con piedras, medias lunas.</li> <li>• Aumentar sistemas de riego suplementario: aspersión, sub-superficial por tubos, local por goteo (FAO, 2005, pp.50-87).</li> </ul>
	<b>Exceso</b>	F7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deben realizar lomas altas (30 cm) para evitar acumulación de agua cercano a la planta.</li> <li>• Trazar una red de surcos a lo largo de la pendiente, con una distancia entre surcos de 4-6 m, como máximo en suelos pesados o 10-12 m, como máximo en suelos de composición mecánica ligera (Polón et al., 2018: pp.96-98).</li> </ul>
<b>MO</b>	<b>Déficit</b>	F4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suministrar uniformemente 2000 kg/ha de gallinaza entre cada ciclo de fertilización o 8 ton/ha/año (Agrizon, 2022; Villada y Tobon, 2016; López y Espinoza, 1995). Ya que tiene bajo contenido de N, y un pH entre alcalino y neutro.</li> </ul>
<b>N</b>	<b>Exceso</b>	F1, F2, F3, F5, F7, F8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adicionar hierbas o cultivos que consuman altas cantidades de N como coberturas de cultivos invernales o cultivos perennes.</li> <li>• Realizar lavados y drenajes controlados del suelo para eliminar el exceso.</li> <li>• Construcción de diques duales. Esta práctica consiste en un pequeño canal principal que acomoda condiciones de flujo bajo y una segunda llanura aluvial cubierta de pasto que acomoda flujos más altos dentro de la zanja. Esto crea una zona de plantas y suelo que absorbe parte de la carga de nitratos a través de la absorción y desnitrificación de la planta, y también puede reducir caudal. Este tipo de diseño alternativo de zanja abierta puede ayudar disminuir los costos periódicos asociados con el mantenimiento de zanjas (Christianson et al., 2016: pp.15-38).</li> </ul>

<b>Fe</b>	<b>Exceso</b>	Todas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediante enclamiento se reduciría una fracción de la concentración de estamento (Guerra, 2013, párr.4-7).</li> <li>• Plantas de las familias Brassicacea (<i>Brassica juncea</i>, <i>Brassica oleracea</i>, <i>Brassica napus</i>) y Euphorbiaceae (<i>Jatropha curcas</i> L) entre otras más, han demostrado tener efectividad en la remoción de metales pesados en suelos tropicales.</li> <li>• Estas familias pueden remover entre 100 a 10 000mg/kg de peso seco(Guerra Sierra et al., 2021: pp.8-11).</li> </ul>
<b>Mn</b>	<b>Exceso</b>	Todas, menos F2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediante enclamiento se reduciría una fracción de la concentración de estamento (Guerra, 2013, párr. 6-8).</li> <li>• Plantas de las familias Brassicacea (<i>Brassica juncea</i>, <i>Brassica oleracea</i>, <i>Brassica napus</i>) y Euphorbiaceae (<i>Jatropha curcas</i> L) entre otras más, han demostrado tener efectividad en la remoción de metales pesados en suelos tropicales.</li> <li>• Estas familias pueden remover entre 100 a 10 000mg/kg de peso seco(Guerra Sierra et al., 2021: pp.8-11).</li> <li>• El tiempo de aplicación y uso debe ser optimizado de forma particular ya que depende de varios factores como: la concentración del metal, el área a ser limpiada, el clima, la adaptación de la planta. Sin embargo, hoy en día la ingeniería genética puede mejorar los tiempo del establecimiento y desarrollo de biomasa de la planta (Yan et al., 2020: pp.7-9).</li> </ul>
<b>Hg</b>	<b>Exceso</b>	Todas, menos F4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usar especies como <i>Cecropia peltata</i> (guarumo) para fitorremediación, con eficiencia de entre 15 a 33% en 4 meses. Se usa 80 plantas por cada 20 m<sup>2</sup> (Vidal et al., 2010: pp.124-126).</li> <li>• Fitorremediación: Planta Nativa (Zamora Chinchipe): <i>Erato polymnioides</i>, 74% de rendimiento (Chamba et al., 2017: p.639)</li> </ul>

Realizado por: Correa C, 2022

En la tabla 37-4 se recopilan las acciones que se deben implementar para cada indicador de calidad de suelo. Adicionalmente, se agrupa al código de cada finca en base a la problemática en común. Ahora bien, al implementar cada acción es necesario documentar el tipo de enmienda que se realiza para llevar un monitoreo periódico o hacer las correcciones de la aplicación de las distintas sustancias según la Tabla 38-4.

En adición a las medidas puntuales *in situ*, también es necesario complementar estas acciones de capacitación de los agro-productores y sus colaboradores mediante talleres teórico prácticos de 40 h sobre temáticas que son de relevancia para el manejo de suelos agropecuarios:

- Taller de agroecología
- Taller de conservación de suelos y protección del agua
- Taller de manejo y aprovechamiento de residuos agropecuarios
- Taller de reforestación.

Para dichas actividades se usan presentaciones, discusiones, prácticas en campo y al final de cada jornada diaria se deben implementar actividades de consolidación /evaluación.

**Tabla 38-4:** Acciones de implementación para la mejora y manejo de suelos de calidad muy baja a moderada en ocho fincas de la comunidad García Moreno

Actividades	Frecuencia	Indicadores	Talento Humano
Capacitación del personal encargado de las fincas.	1 vez al año	Fotografías. Evaluaciones escritas y certificaciones.	Técnico encargado de la implementación del plan de mejoras en cada finca.
Verificación del estado de los sistemas físicos (riego o drenaje) y mantenimiento.	Semestralmente	Informe de verificación.	Equipo de trabajo de campo encargado de cada finca.
Aplicación de las enmiendas químicas	Anualmente o de acuerdo a lo requerido por el plan de manejo.	Informe de verificación.	Equipo de trabajo de campo encargado de cada finca.
Remoción y eliminación periódica de las plantas de tratamiento para desechos.	Periódicamente de acuerdo a la especie y sitio.	Informe de eliminación de desechos.	Técnico encargado de cada finca.
Verificación del volumen de producción de los cultivos.	Anualmente	Informe de rendimiento agrícola de la finca.	Técnico encargado de cada finca.
Análisis Integral del suelo: físico-químico-biológico-contaminantes	Cada 3 años	Informe de resultado de indicadores, físico, químicos, biológicos y de contaminantes.	Institución o personal externo especializado.

**Realizado por:** Correa, Carilyn, 2022.

#### 4.2.7. Presupuesto estimado

El costo estimado para la mejora del suelo de con una superficie de 10 ha, que presenta todos los problemas encontrados fue de 115 663 USD. Sin embargo, es preciso tomar en cuenta que el costo en cada finca variará proporcionalmente con la superficie destinada para agricultura. Además, de que todas las fincas no presentan todas las problemáticas. Lo que da como resultado costos inferiores a lo señalado en la Tabla 39-4.

**Tabla 39-4:** Estimación de costos para la adecuación de suelos agrícolas

Insumo	Precio	Cantidad promedio	Extensión promedio	Subtotal (USD)
<b>ÍNSUMOS AGRICOLAS</b>				
<b>Cal agrícola (Hidróxido de Calcio-Agripac)</b>	3.67 USD/25 kg	7444 (kg/ha) Dependiente de la diferencia de pH	10 ha	10 928
<b>Sistemas de riego (Goteo automático)</b>	120 USD/20 plantas	500pl/ha	10 ha	30 000
<b>Materia Orgánica (Gallinaza)</b>	7.50USD / 45 kg	2000 kg/ha	10 ha*4 veces	13 333
<b>Mezcladoras</b>	168 USD	5 unidades	-	900
<b>Palas</b>	13.50 USD	10 unidades	-	135
<b>Baldes</b>	8 USD	20 unidades	-	160
<i>Erato polymnioides</i>	0.50USD/planta	80 pl/20m <sup>2</sup>	10 ha	10 000
<i>Brassica mpus</i>	0.50USD/planta	80 pl/20m <sup>2</sup>	10 ha	10 000
<b>Subtotal</b>				<b>64 528</b>
<b>TRANSPORTE</b>				
<b>Trasporte de insumos</b>	40 USD/vuelta	20 unidades	4 vueltas	3 200
<b>Subtotal</b>				<b>3 200</b>
<b>RECURSO HUMANO</b>				
<b>Mano de obra</b>	425 USD /mes	5 personas	12 meses	25 500
<b>Ingeniera(o) ambiental</b>	980 USD /mes	1 persona	6 meses	5 880
<b>Ingiera(o) agropecuario</b>	980 USD /mes	1 persona	6 meses	5 880
<b>Diagnóstico de laboratorio en 3 años (Agrocalidad 2021)</b>	160 USD	1 análisis completo	21 días	160
<b>Subtotal</b>				<b>37 420</b>
<b>SUBTOTAL</b>				<b>105 148</b>
<b>Imprevistos</b>				<b>0.10*SUBTOTAL</b>
<b>TOTAL</b>				<b>115 663</b>

Realizado por: Correa, Carilyn, 2022.

## CONCLUSIONES

- Los grados de agregación encontrados en las fincas van desde débil a fuerte con tipos de partículas granulares y de bloque principalmente. Así como, las clases texturales de los suelos muestreados están en un espectro de franco, franco-arenoso-arcilloso a arcilloso.
- Los porcentajes de humedad son heterogéneos entre los suelos muestreados. Se encuentran desde suelos muy secos a muy húmedos.
- Todas las fincas presentan acidificación del suelo ocasionando que la mayoría de ellos tengan una baja fijación de nitrógeno y a su vez determina las concentraciones tóxicas de hierro (todas) y manganeso (menos la finca número 2, F2).
- Se encontró deficiencias en los contenidos de materia orgánica en la finca número 4 (F4).
- Se encontró alta presencia de mercurio en 7 de las 8 fincas, a excepción de la finca número 4 (F4).
- De acuerdo con las investigaciones de otros autores fue necesario para determinar que las actividades antropogénicas pueden afectar los cultivos y por lo tanto a los alimentos, pues los residuos que estas actividades desechan contaminan el medio ambiente pudiendo afectar a la población.
- De acuerdo a las investigaciones realizadas y en contraste a los resultados obtenidos con respecto a metales pesados, se puede decir que las actividades antropogénicas son las principales responsables de la mala calidad del suelo agrícola, afectando de tal manera a los cultivos de la zona y por ende a la población.
- Los índices de calidad determinados a partir de cinco indicadores de fertilidad sugieren que las fincas F2, F3, F4, tenían una baja calidad; F1, F6, F7, F8 tienen una calidad moderada y F5 calidad alta. Sin embargo, si a esto se añade la presencia de niveles tóxicos de metales pesados ninguna sería apta para uso agrícola.

## **RECOMENDACIONES**

Se exhorta a:

- Evaluar la calidad de los suelos a través de indicadores biológicos para robustecer los resultados y las acciones de manejo.
- Replicar el estudio en otras condiciones de clima, para evaluar como varían los parámetros estudiados en el tiempo y así poder determinar las medidas más adecuadas de manejo y monitoreo de acuerdo a cada época climática.
- Realizar futuros análisis de suelos para determinar la efectividad del encalado en la concentración de metales pesados. Esto debido a que son las dos mayores problemáticas que deterioran la calidad del suelo agrícola.
- Realizar análisis del agua utilizada para riego, así como de los cultivos que se encuentran dentro de las fincas.
- Definir un índice de calidad de suelo más robusto que considere los parámetros biológicos y ambientales que tomen en cuenta metales pesados y otros contaminantes.
- Monitorear la calidad del suelo cada 3 años a fin de hacer correcciones o modificaciones en las acciones de mantenimiento del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

**ABBONA, E.A., & SARANDÓN, Santiago J.** "Manejo de Nutrientes en los Agroecosistemas". En: S. J. SARANDÓN y C.C. FLORES (eds.). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentables* [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Editorial de la Universidad de la Plata, 2014. pp. 211-234. [Consulta: 14 abril 2022]. Disponible en: [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/1630/mod\\_resource/content/3/Capitulo\\_8\\_Nutrientes.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/1630/mod_resource/content/3/Capitulo_8_Nutrientes.pdf).

**AEFA.** *Clasificación del pH* [blog]. Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes: 2021. [Consulta: 9 julio 2022].

**AGRIZON.** *Guano Gallinaza Mejorada 45 Kg* [blog]. International Plant Nutrition Institute (IPNI): 2022. [Consulta: 20 agosto 2022].

**AGUIAR, A.; et al.** "Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the pre-Amazon region of Brazil". *Nutrient Cycling in Agroecosystems* [en línea], 2010, 86(2), pp. 189-198. [Consulta: 6 julio 2022]. ISSN 1385-1314. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/225656520\\_Nutrient\\_recycling\\_and\\_physical\\_indicators\\_of\\_an\\_alley\\_cropping\\_system\\_in\\_a\\_sandy\\_loam\\_soil\\_in\\_the\\_Pre-Amazon\\_region\\_of\\_Brazil](https://www.researchgate.net/publication/225656520_Nutrient_recycling_and_physical_indicators_of_an_alley_cropping_system_in_a_sandy_loam_soil_in_the_Pre-Amazon_region_of_Brazil).

**ALENGEBAWY, A.; et al.** "Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications". *Toxics* [en línea], 2021, 9(3), pp. 1-34. [Consulta: 25 julio 2022]. ISSN 2305-6304. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7996329/>.

**ANÓNIMO.** *Basic Soil Science and Soil Fertility* [en línea]. NPDES, 2012. [Consulta: 9 enero 2023]. Disponible en: [https://www3.epa.gov/npdes/pubs/cafo\\_permitmanual\\_appendixa.pdf](https://www3.epa.gov/npdes/pubs/cafo_permitmanual_appendixa.pdf).

**ASTIER, M.; et al.** "Derivación De Indicadores De Calidad De Suelos En El Contexto De La Agricultura Sustentable". *Agrociencia* [en línea], 2002, (México) 36(5), pp. 605-620. [Consulta: 29 abril 2022]. ISSN 1405-3195. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/302/30236511.pdf>.

**BARRAZA, F.; et al.** "Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities". *Science of the*

*Total Environment* [en línea], 2018, 622-623, pp. 106-120. [Consulta: 4 agosto 2022]. ISSN 1879-1026. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717333041>.

**BAUTISTA, A.; et al.** "La calidad del suelo y sus indicadores". *Ecosistemas* [en línea], 2004, (México) 13(2), pp. 90-97. [Consulta: 29 abril 2022]. ISSN 1697-2473. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>

**BECHER, H.H.; et al.** "An index value for characterizing hardsetting soils by fall-cone penetration". *Science Direct* [en línea], 1997, (Estados Unidos) 10(1), pp. 47-56. [Consulta: 6 julio 2022]. ISSN 0933-3630. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0933363095000437>.

**BEJARANO, W.; & PORTCH, S.** *La importancia de la Evaluación y mejoramiento de la fertilidad del suelo en la agricultura del Ecuador* [en línea]. Quito-Ecuador: INIAP, 1974. [Consulta: 1 mayo 2022]. Disponible en: <http://181.112.143.123/bitstream/41000/2827/1/iniapsc322est.pdf>.

**BRASSEL, F.; et al.** *¿Reforma agraria en el Ecuador?: viejos temas, nuevos argumentos* [en línea]. Quito-Ecuador: SIPAE, 2018. [Consulta: 3 mayo 2022]. Disponible en: [http://biblioteca.clacso.edu.ar/Ecuador/sipae/20170627055508/pdf\\_428.pdf](http://biblioteca.clacso.edu.ar/Ecuador/sipae/20170627055508/pdf_428.pdf).

**BRAVO, C.; et al.** "Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana". *Revista Electronica de Veterinaria* [en línea], 2017, (España) 18(11), pp. 1-16. [Consulta: 30 agosto 2022] ISSN 1695-7504. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63653574014>.

**BRAVO, E.** Los impactos de la explotación petrolera en ecosistemas tropicales y la biodiversidad. En: *Fronteras Comunes y Asociación Ecológica Santo Tomás*. S.l.: INREDH, 2007, pp. 25-35.

**BÜNEMANN, E.K.; et al.** "Soil quality-A critical review". *Soil Biology and Biochemistry* [en línea], 2018, (Países Bajos) 120(5), pp. 105-125. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 0038-0717. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/323175431\\_Soil\\_quality\\_-\\_A\\_critical\\_review](https://www.researchgate.net/publication/323175431_Soil_quality_-_A_critical_review).

**BURGOS, E.J.** Determinación de infiltración del suelo en los sectores ganaderos de la cuenca alta del río Puyo (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). [en línea] Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida. Pastaza-Ecuador. 2016. pp. 28-35 [Consulta: 9 diciembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/166/T.AMB.B.UEA.3091?sequence=1&isAllowed=y>.

**CANTÚ, M.P.; et al.** "Soil quality evaluation using indicators and indices". *Ciencia del Suelo* [en línea], 2007, (Argentina) 25(2), pp. 173-178. [Consulta: 4 agosto 2022]. ISSN 0326-3169. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/288381285\\_Soil\\_quality\\_evaluation\\_using\\_indicators\\_and\\_indices](https://www.researchgate.net/publication/288381285_Soil_quality_evaluation_using_indicators_and_indices).

**CASTILLO, I.** Propuesta de Restauración Ecológica del Suelo Volcánico en áreas No . 5 y SJ14 destinadas para la protección de especies forestales y frutales dentro de la concesión de la Empresa Polaris Energy Nicaragua S.A en San Jacinto-Tizate (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). [en línea] Universidad Centroamericana, Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente. Managua-Nicaragua. 2017. pp. 138-139 [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.uca.edu.ni/4747/1/UCANI5115.pdf>.

**CASTILLO, X.; et al.** "Soil quality evaluation: Generation and interpretation of indicators". *Terra Latinoamericana* [en línea], 2021, (México) 39, pp. 1-12. [Consulta: 6 julio 2022]. Disponible en: <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/698/1247>.

**CHAMBA, I.; et al.** "Erato polymnioides-A novel Hg hyperaccumulator plant in ecuadorian rainforest acid soils with potential of microbe-associated phytoremediation". *Chemosphere* [en línea], 2017, (Ecuador) 188, pp. 633-641. [Consulta: 2 enero 2023]. ISSN 1879-1298. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/328080070\\_Erato\\_polymnioides\\_e\\_A\\_novel\\_Hg\\_hyperaccumulator\\_plant\\_in\\_ecuadorian\\_rainforest\\_acid\\_soils\\_with\\_potential\\_of\\_microbe-associated\\_phytoremediation](https://www.researchgate.net/publication/328080070_Erato_polymnioides_e_A_novel_Hg_hyperaccumulator_plant_in_ecuadorian_rainforest_acid_soils_with_potential_of_microbe-associated_phytoremediation)

**CHÁVEZ, E.; et al.** "Chemical speciation of cadmium: An approach to evaluate plant-available cadmium in Ecuadorian soils under cacao production". *Chemosphere* [en línea], 2016, 150, pp. 57-62. [Consulta: 22 Octubre 2022]. ISSN 1879-1298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2016.02.013. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/295078370\\_Chemical\\_speciation\\_of\\_cadmium\\_An\\_approach\\_to\\_evaluate\\_plant-available\\_cadmium\\_in\\_Ecuadorian\\_soils\\_under\\_cacao\\_production](https://www.researchgate.net/publication/295078370_Chemical_speciation_of_cadmium_An_approach_to_evaluate_plant-available_cadmium_in_Ecuadorian_soils_under_cacao_production).

**CHIRINOS, F.; & PÉREZ, E.** *El Cultivo del manguero en Venezuela* [en línea]. Maracaybo Venezuela: Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 1998. [Consulta: 27 julio 2022]. Disponible en: <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6903/BVE18040067e.pdf;jsessionid=BFC8817DB06F9E56A00F23AC66E30113?sequence=1>.

**CHRISTIANSON, L.; et al.** *Ten Ways to Reduce Nitrogen Loads from Drained Cropland in the Midwest* [en línea]. University of Illinois Extension, 2016. [Consulta: 9 diciembre 2022]. Disponible en: [http://draindrop.cropsci.illinois.edu/wp-content/uploads/2016/09/Ten-Ways-to-Reduce-Nitrate-Loads\\_IL-Extension-\\_2016.pdf](http://draindrop.cropsci.illinois.edu/wp-content/uploads/2016/09/Ten-Ways-to-Reduce-Nitrate-Loads_IL-Extension-_2016.pdf).

**CLIRSEN; et al.** *Memoria técnica: Evaluación de tierras por su capacidad de uso. Cantón Jaramijó* [en línea]. Jaramijó-Ecuador: SNI, 2011. [Consulta: 1 mayo 2022]. Disponible en: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA4/NIVEL\\_DEL\\_PDOT\\_CANTONAL/MANABI/JARAMIJO/IEE/MEMORIA\\_TECNICA/mt\\_capacidad\\_uso\\_de\\_tierra.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA4/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/MANABI/JARAMIJO/IEE/MEMORIA_TECNICA/mt_capacidad_uso_de_tierra.pdf).

**CONSULTING, G.** *Ensayo de Humedad del suelo* [blog]. GeneratePres: 1993 [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: <https://geotecniaymecanicasuelosabc.com/humedad-suelos/>.

**CONSULTOR, E.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia García Moreno*, 2020.

**CORAL, D.M.; et al.** *Prácticas culturales y de manejo de suelos ante los efectos de la variabilidad climática desde la finca del productor* [en línea]. Colombia: Produmedios, 2011. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/2346>.

**CORAL, K.; et al.** "Spatial distribution and level of contamination of potentially toxic elements in sediments and soils of a biological reserve wetland, northern Amazon region of Ecuador". *Environmental Management* [en línea], 2021, 289(1). [Consulta: 25 julio 2022]. ISSN 1095-8630. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721005570>.

**COSTANTINI, E.; et al.** "Soil indicators to assess the effectiveness of restoration strategies in

dryland ecosystems". *Solid Earth Discussions* [en línea], 2015, 7(4), pp. 3645-3687. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Example-of-soil-quality-indicators-used-in-restoration\\_tb11\\_286401333](https://www.researchgate.net/figure/Example-of-soil-quality-indicators-used-in-restoration_tb11_286401333).

**CREMONA, V.; & ENRIQUEZ, A.** "Algunas propiedades del suelo condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica". *Presencia* [en línea], 2020, vol. 73, [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/335290789.pdf>.

**DATTA, S.; et al.** *Understanding Soil Water Content and Thresholds for Irrigation Management* [en línea]. Oklahoma-Estados Unidos: Oklahoma Cooperative Extension Service, 2017. [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/print-publications/bae/understanding-soil-water-content-and-thresholds-for-irrigation-management-bae-1537.pdf>.

**DHALIWAL, S.S.; et al.** "Remediation techniques for removal of heavy metals from the soil contaminated through different sources: a review". *Environmental Science and Pollution Research* [en línea], 2020, 27(2), pp. 1319-1333. [Consulta: 27 diciembre 2022]. ISSN 1614-7499. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/337771206\\_Remediation\\_techniques\\_for\\_removal\\_of\\_heavy\\_metals\\_from\\_the\\_soil\\_contaminated\\_through\\_different\\_sources\\_a\\_review#:~:text=Various methods of immobilizing heavy,2C and phytoremediation %5B145%5D](https://www.researchgate.net/publication/337771206_Remediation_techniques_for_removal_of_heavy_metals_from_the_soil_contaminated_through_different_sources_a_review#:~:text=Various methods of immobilizing heavy,2C and phytoremediation %5B145%5D).

**DINTER, T.C.; et al.** "Heavy metal contents, mobility and origin in agricultural topsoils of the Galápagos Islands". *Chemosphere* [en línea], 2021, 272, pp. 1-11. [Consulta: 25 julio 2022]. ISSN 1879-1298. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653521002903>.

**EDIENE, V.; & UMOETOK, S.** "Concentration of Heavy Metals in Soils at the Municipal Dumpsite in Calabar Metropolis". *Environment & Ecology* [en línea], 2017, (Nigeria) 3(2), pp. 1-11. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 2456-690X. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/144821777.pdf>.

**ELSTON.** 1999. *Copper Deficiency: Diagnosis and Correction* [blog]. Alberta Government: 1999. [Consulta: 9 julio 2022].

**ENDAVENT.** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia García Moreno,

2015-2019.

**EQUIPO EDITORIAL ETECÉ.** *SUELO* [blog]. Argentina: Concepto.de, 5 agosto, 2021. [Consulta: 28 abril 2022].

**ESTRADA, I.R.; et al.** "Soil quality indicators to evaluate soil fertility". *Agrociencia* [en línea], 2017, (México) 51(8), pp. 813-831. [Consulta: 4 agosto 2022]. ISSN 1405-3195. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/322114825\\_Soil\\_quality\\_indicators\\_to\\_evaluate\\_soil\\_fertility](https://www.researchgate.net/publication/322114825_Soil_quality_indicators_to_evaluate_soil_fertility).

**FABELO, J.A.** "Methodological Proposal for Contaminated Soil Recovery". *Centro Azúcar* [en línea], 2019, (Cuba) 44(1), pp. 53-60. [Consulta: 27 octubre 2022]. ISSN 2223- 4861. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v44n1/caz06117.pdf>.

**FAO.** "El Suelo". *ECOLOGIA Y ENSEÑANZA RURAL: Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas* [en línea]. Roma, Italia: s.n., 1996. [Consulta: 19 abril 2022]. Disponible en: [https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm#P5\\_56](https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm#P5_56).

**FAO.** *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo. Boletín de Suelos de la FAO* [en línea]. Roma, 2005. [Consulta: 9 enero 2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s00.htm>.

**FAO.** 2007. *Propiedades Químicas* [blog]. *Portal de suelos de la FAO*: 2022. [Consulta: 27 diciembre 2022].

**FAO.** *Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management* [en línea]. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. [Consulta: 29 julio 2022]. Disponible en: [https://reliefweb.int/report/world/voluntary-guidelines-sustainable-soil-management?gclid=CjwKCAjw5pShBhB\\_EiwAvmnNV8cyNxGMLnuZOJHBLOvkY0VLtb\\_RqO8bJIPzmx6G0ERpRZKNtBSENxoC53cQAvD\\_BwE](https://reliefweb.int/report/world/voluntary-guidelines-sustainable-soil-management?gclid=CjwKCAjw5pShBhB_EiwAvmnNV8cyNxGMLnuZOJHBLOvkY0VLtb_RqO8bJIPzmx6G0ERpRZKNtBSENxoC53cQAvD_BwE).

**FAO.** *Propiedades Físicas del Suelo* [blog]. *Portal de Suelos de la FAO*: 2022. [Consulta: 30 abril 2022].

**FAO & MADS.** *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales* [en línea]. Bogotá-Colombia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación

y la Agricultura, 2018. [Consulta: 4 mayo 2022].. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>.

**FAO & PNUMA.** *Evaluación mundial de la contaminación del suelo–Resumen para los formuladores de política* [en línea]. Roma-Italia: FAO, 2022. [Consulta: 18 abril 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/cb4827es/cb4827es.pdf>.

**FÉLIX, I.; et al.** Avances de investigación del Proyecto Determinación de metales pesados en cultivos de exportación y su repercusión en la calidad de los mismo. En: *VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Quito: INIAP, 2003, pp. 1-8.

**FLACSO; et al.** *Geo Ecuador 2008 Informe sobre el estado del medio ambiente*. [en línea]. Quito-Ecuador: MAE, 2008. [Consulta: 1 mayo 2022]. Disponible en: [http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador pdf/06. Capitulo 4. Estado del suelo.pdf](http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador%20pdf/06.%20Capitulo%204.%20Estado%20del%20suelo.pdf).

**FLORES, B.M.; et al.** "Editorial special issue: plant-soil interactions in the Amazon rainforest". *Plant and Soil* [en línea], 2020, pp. 1-9. [Consulta: 10 diciembre 2022]. ISSN 1573-5036. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/341551273\\_Editorial\\_special\\_issue\\_plant-soil\\_interactions\\_in\\_the\\_Amazon\\_rainforest](https://www.researchgate.net/publication/341551273_Editorial_special_issue_plant-soil_interactions_in_the_Amazon_rainforest).

**GADPO.** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Orellana, 2015-2019.

**GALICIA, I.** *¿En qué consiste el sistema de color de Munsell y por qué es importante en la iluminación?* [blog]. iluminet: 5 noviembre, 2018 [Consulta: 9 julio 2022]

**GARCÍA, L.C.; & SCHLATTER, J.E.** "Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador". *Ciencias Agrarias* [en línea], 2012, (Brasil) 7(3), pp. 456-464. [Consulta: 8 julio 2022]. ISSN 1981-1160. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119024529014>.

**GARRIDO, S.** *INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS: Guia práctica para muestrear los suelos e interpretar sus análisis* [en línea]. Madrid-España: MAPA, 1994. [Consulta: 8 julio 2022]. Disponible en: [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1993\\_05.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf).

**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL FRANCISCO DE ORELLANA. PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPAL de FRANCISCO DE ORELLANA 2014-2019.**

**GONZÁLEZ, J.L.** Evaluación de La Calidad del Suelo en La Comuna de Buin Mediante Análisis de Indicadores Morfológicos y Químicos en el marco de la Expansión Urbana del la ciudad compacta de Santiago (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). [en línea] Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Santiago de Chile-Chile. 2009. pp. 46-47 [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/100116>.

**GONZÁLEZ, V.; et al.** "Evaluación de la calidad de los suelos en cultivares de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) en la parroquia Fátima provincia de Pastaza". *Ciencias Agrarias* [en línea], 2019, 12(2), pp. 15-22. [Consulta: 4 agosto 2022]. ISSN 1390-4051. Disponible en: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/322/318>.

**GOYES, F.; et al.** "A soil quality index for seven productive landscapes in the Andean-Amazonian foothills of Ecuador". *Land Degradation and Development* [en línea], 2021, (Ecuador), 32(6), pp. 1-16. [Consulta: 4 julio 2022]. ISSN 1099-145X. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/343002625\\_A\\_soil\\_quality\\_index\\_for\\_seven\\_productive\\_landscapes\\_in\\_the\\_Andean-Amazonian\\_foothills\\_of\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/343002625_A_soil_quality_index_for_seven_productive_landscapes_in_the_Andean-Amazonian_foothills_of_Ecuador).

**GUERRA SIERRA, B.E.; et al.** "Phytoremediation of heavy metals in tropical soils an overview". *Sustainability* [en línea], 2021, (Colombia) 13(5), pp. 1-24. [Consulta: 3 noviembre 2022]. ISSN 2071-1050. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2574>

**GUERRA, V.** *Cuando los nutrientes esenciales se vuelven tóxicos* [blog]. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina: 26 septiembre, 2013. [Consulta: 9 septiembre 2022].

**GUPTA, U.; et al.** "Micronutrients in Soils, Crops, and Livestock". *Earth Science Frontiers* [en línea], 2008, (China) 15(5), pp. 110-125. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 18725791. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1872579109600038>.

**HEEREN, O.M.** *Efecto Directo E Indirecto Del Exceso De Hierro (Fe) Disponible En El Suelo Sobre El Desempeño Del Cultivo De Lepidium Meyenii Walp. (Maca)* [en línea]. Lima, 2021. [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en:

[https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/9988/Efecto\\_HeerenDiaz\\_Oscar.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/9988/Efecto_HeerenDiaz_Oscar.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**HERNÁNDEZ, A.; et al.** *Fundamentos de la estructura de suelos tropicales* [en línea]. Nayarit-México: Universidad Autónoma de Nayarit, 2010. [Consulta: 27 julio 2022]. Disponible en: <https://www.studocu.com/sg/document/universidad-catolica-de-cuenca/mecanica-de-suelos/fundamentos-de-la-estructura-de-suelos-tropicales-2021/16185948>.

**HIDALGO, J.L.** La situación actual de la sustitución de insumos agroquímicos por productos biológicos como estrategia en la producción agrícola: El sector florícola ecuatoriano (Trabajo de titulación) (Maestría). [en línea] Universidad Andina Simón Bolívar, Facultad de Estudios Sociales y Globales. Quito-Ecuador. 2017. pp. 15-18 [Consulta: 1 mayo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6095/1/T2562-MRI-Hidalgo-La%20situacion.pdf>

**INIAP.** *Banano* [blog]. INIAP: 2014. [Consulta: 9 enero 2023].

**INTAGRI.** *Propiedades Físicas del Suelo y el Crecimiento de las Plantas* [blog]. *intagri: México, 2020*. [Consulta: 30 abril 2022].

**IYAMA, W.A.; et al.** "Assessment of heavy metals in agricultural soils and plant (*Vernonia amygdalina* delile) in port harcourt metropolis, Nigeria". *Agriculture* [en línea], 2022, (Nigeria) 12(1), ISSN 2077-0472. [Consulta: 25 julio 2022]. Disponible en: [357372585\\_Assessment\\_of\\_Heavy\\_Metals\\_in\\_Agricultural\\_Soils\\_and\\_Plant\\_Vernonia\\_amygdalina\\_Delile\\_in\\_Port\\_Harcourt\\_Metropolis\\_Nigeria](https://doi.org/10.3390/ag12010012).

**JACTO.** *Degradación del suelo: causas y consecuencias* [blog]. El blog de Jacto Mexico: 30 diciembre, 2021. [Consulta: 4 mayo 2022].

**JAMES, H.; et al.** *La Región Amazónica del Ecuador: Problemas y Opciones de Desarrollo* [en línea]. Washington, D.C-Estados Unidos: The World Bank, 1994. [Consulta: 3 mayo 2022]. Disponible en: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/534161468248409327/pdf/WDP7501SPANISH.pdf>.

**JIMENEZ, G., & PÁRRAGA, C.** *Estudio de la movilización de metales pesados* [en línea]. S.l.: TDX, 2011. pp. 140-190. [Consulta: 01 octubre 2022]. Disponible en:

<https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/11036/Tasm11de16.pdf?sequence=11>.

**JORDAN, A.** *Soil color never lies* [blog]. EGU BLOGS: 30 marzo, 2014. [Consulta: 29 julio 2022].

**JUNTA DE ANDALUCÍA.** "PARTE I: ALGUNOS CONCEPTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS". *Guía geológica e itinerarios: Parque Natural Sierra Norte de Sevilla* [en línea]. Andalucía-España: s.n., 2019. pp. 0-124. [Consulta: 01 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Patrimonio\\_Natural\\_Uso\\_Y\\_Gestion/Espacios\\_Protegidos/publicaciones\\_renpa/guia\\_geologica\\_s\\_norte/03\\_parte\\_1.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Patrimonio_Natural_Uso_Y_Gestion/Espacios_Protegidos/publicaciones_renpa/guia_geologica_s_norte/03_parte_1.pdf).

**KOME, G.K.; et al.** "Influence of Clay Minerals on Some Soil Fertility Attributes: A Review". *Open Journal of Soil Science* [en línea], 2019, (Camerún) 9(9), pp. 155-188. [Consulta: 29 julio 2022]. ISSN 2162-5360. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/336017263\\_Influence\\_of\\_Clay\\_Minerals\\_on\\_Some\\_Soil\\_Fertility\\_Attributes\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/336017263_Influence_of_Clay_Minerals_on_Some_Soil_Fertility_Attributes_A_Review).

**LABAN, P.; et al.** *Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas* [en línea]. Gland-Suiza: UICN, 2018. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2018-004-Es.pdf>.

**LABRADOR, J.** *Manejo del Suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica* [en línea]. Valencia-España: Sociedad Española de Agricultura Ecológica, 2008. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.agroecologia.net/wp-content/uploads/2019/01/manual-suelos-jlabrador.pdf>.

**LASLUIZA, M.F.** Determinación de la concentración de metales pesados (cadmio, plomo y cromo) en la lechuga (*Lactuca sativa*) que se cultiva en la parroquia Presidente Urbina del cantón Píllaro (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). [en línea]. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Ambato-Ecuador. 2022. p.9. [Consulta: 10 enero 2023]. Disponible en: [https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34930#:~:text=Esta investigación determinó la presencia,de espectrofotometría de absorción atómica](https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34930#:~:text=Esta%20investigaci3n%20determin3%20la%20presencia,de%20espectrofotometr3a%20de%20absorci3n%20at3mica).

**LI, C.; et al.** "A Review on Heavy Metals Contamination in Soil: Effects, Sources, and

Remediation Techniques". *Soil and Sediment Contamination* [en línea], 2019, (China) 28(4), pp. 380-394. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 1549-7887. Disponible en: <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/6364145>.

**LION, M.; et al.** High-Resolution image and field observation for Assessment of soil water content in tropical lowland dipterocarp forest. En: *10th Kuala Lumpur International Agriculture, Forestry and Plantation*. Selangor: Spatio-temporal distribution of moisture and its impact on a tropical rainforest at Malaysia, 2021, pp. 257-265.

**LÓPEZ, A.; & ESPINOZA, J.** *Manual de nutrición y fertilización del banano* [en línea]. Pocerí-Costa Rica: IPNI, 1995. [Consulta: 9 diciembre 2022]. Disponible en: [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/c093707b0327c2fe05257a40005f359f/\\$FILE/N F Banano.002.002.pdf/N F Banano.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/c093707b0327c2fe05257a40005f359f/$FILE/N F Banano.002.002.pdf/N F Banano.pdf).

**LUTERS, A.; & SALAZAR, J.C.** *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo* [en línea]. Argentina: USDA, 2000. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19741/mod\\_resource/content/1/CALIDAD DEL SUELO - VALIJA DE CAMPO.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19741/mod_resource/content/1/CALIDAD DEL SUELO - VALIJA DE CAMPO.pdf).

**LYNCH, J.; et al.** "Effect of Internal and External Factors on Root Growth and Development". *Nutrición Mineral de Plantas Superiores de Marschner* [en línea]. 3ª ed. S.I.: Elsevier, 2012. pp. 331-346. [Consulta: 29 julio 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123849052000133>.

**MARTIN, N.; & PÉREZ, G.** "Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana". *Cultivos Tropicales* [en línea], 2009, (Cuba) 30(1), pp.5-10. [Consulta: 8 julio 2022]. ISSN: 0258-5936. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100003).

**MENDOZA, R.B.; & ESPINOZA, A.** *Guía Técnica para muestreo de suelos* [en línea]. Nicaragua: UNA-ASA-CRS, 2017. [Consulta: 6 julio 2022]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/151729876.pdf%0Ahttp://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>.

**MESTANZA, C.; et al.** "Gold Mining in the Amazon Region of Ecuador: History and a Review of Its Socio-Environmental Impacts". *Land* [en línea], 2022, (Ecuador) 11(2), pp. 1-23. [Consulta:

27 noviembre 2022]. ISSN 2073-445X. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-445X/11/2/221>.

**MONTAÑO, N.M.; et al.** "El suelo y su multifuncionalidad: ¿Qué ocurre ahí abajo?". *CIENCIA ergo sum* [en línea], 2018, (México) 25(3), pp. 1-12. [Consulta: 19 abril 2022]. ISSN 1405-0269. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10455646009>.

**MONTIEL, K.; & IBRAHIM, M.** *Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático* [en línea]. S.I.: IICA, 2016. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B3982E/B3982E.PDF>.

**MOODY, P.W.; & CONG, P.T.** *Soil Constraints and Management Package (SCAMP): Guidelines for sustainable management of tropical upland soils* [en línea]. ACIAR, 2008. [Consulta: 29 julio 2022]. Disponible en: [https://www.aciar.gov.au/sites/default/files/legacy/node/8946/MN130\\_full\\_text.pdf](https://www.aciar.gov.au/sites/default/files/legacy/node/8946/MN130_full_text.pdf).

**MORALES, M.** *Suelos y Biodiversidad* [blog]. Semana: 30 agosto, 2015. [Consulta: 30 abril 2022].

**MOREIRA, F.M.; et al.** "Differentiation in the fertility of Inceptisols as related to land use in the upper Solimões river region, western Amazon". *Science of the Total Environment* [en línea], 2009, (Brasil) 408(2), pp. 349-355. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969709008511>

**MORENO, J.; et al.** *Memoria Técnica. GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL* [en línea]. Quito-Ecuador: MAG-CGSIN, 2017. [Consulta: 1 mayo 2022]. Disponible en: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PROY\\_NAC\\_IEE/AREAS\\_PANE/P\\_N\\_YASUNI\\_2017/MEMORIA\\_TECNIC](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PROY_NAC_IEE/AREAS_PANE/P_N_YASUNI_2017/MEMORIA_TECNIC).

**MOURA, E.G.; et al.** "Evaluating chemical and physical quality indicators for a structurally fragile tropical soil". *Soil Use and Management* [en línea], 2009, (Brasil) 25(4), pp. 368-375. [Consulta: 6 julio 2022]. ISSN 0266-0032. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/229512757\\_Evaluating\\_chemical\\_and\\_physical\\_quality\\_indicators\\_for\\_a\\_structurally\\_fragile\\_tropical\\_soil](https://www.researchgate.net/publication/229512757_Evaluating_chemical_and_physical_quality_indicators_for_a_structurally_fragile_tropical_soil).

**MUKTAMAR, Z.; et al.** "Quality Enhancement of Humid Tropical Soils after Application of

Water Hyacinth ( *Eichornia crassipes* ) Compost". *Agricultural Technology* [en línea], 2016, (Indonesia) 12(7), pp. 1211-1227. [Consulta: 30 noviembre 2022]. ISSN 1686-9141. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/312091883\\_Quality\\_Enhancement\\_of\\_Humid\\_Tropical\\_Soils\\_after\\_Application\\_of\\_Water\\_Hyacinth\\_Eichornia\\_crassipes\\_Compost](https://www.researchgate.net/publication/312091883_Quality_Enhancement_of_Humid_Tropical_Soils_after_Application_of_Water_Hyacinth_Eichornia_crassipes_Compost).

**MUNIVE, R.; et al.** "Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados". *Scientia Agropecuaria* [en línea], 2018, (Perú) 9(4), pp. 551-560. [Consulta: 22 octubre 2022]. ISSN 2077-9917. Disponible en: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop%0AFacultad>.

**MUÑOZ, M.** "Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration". *Current Opinion in Environmental Science and Health* [en línea], 2018, 5, pp. 47-52. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 2468-5844. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468584>.

**MUYULEMA, J.; et al.** "Evaluation of contamination by heavy metals in soils of the Cayapas Mataje Mangrove Reserve (REMACAM)-Ecuador". *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica* [en línea], 2019, (Ecuador) 7(41), pp.40-61. [Consulta: 25 julio 2022]. ISSN 2007-9753. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/riiit/v7n41/2007-9753-riiit-7-41-40.pdf>

**NOVILLO, C.** *Qué es la degradación del suelo* [blog]. *Ecología Verde: 26 junio, 2019*. [Consulta: 30 abril 2022].

**OKEREAFOR, U.; et al.** "Toxic metal implications on agricultural soils, plants, animals, aquatic life and human health". *Environmental Research and Public Health* [en línea], 2020, (South Africa) 17(7), pp. 1-9. [Consulta: 25 julio 2022]. ISSN 1660-4601. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/340181775\\_Toxic\\_Metal\\_Implications\\_on\\_Agricultural\\_Soils\\_Plants\\_Animals\\_Aquatic\\_life\\_and\\_Human\\_Health](https://www.researchgate.net/publication/340181775_Toxic_Metal_Implications_on_Agricultural_Soils_Plants_Animals_Aquatic_life_and_Human_Health).

**OLIVER, D.P.; et al.** "Review: Soil physical and chemical properties as indicators of soil quality in Australian viticulture". *Australian Journal of Grape and Wine Research* [en línea], 2013, (Australia) 19(2), pp. 129-139. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 1322-7130. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ajgw.12016>.

**PEREIRA, C.A.; et al.** *Sistemas de producción vegetal II* [en línea]. Caldas-Colombia: Espacio Gráfico Comunicaciones S.A, 2011. [Consulta: 29 marzo 2022]. Disponible en: [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4781/sistemas\\_de\\_produccion\\_vegetal\\_2.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4781/sistemas_de_produccion_vegetal_2.pdf)

**PIERZYNSKI, G.M.; et al.** *Soils and Environmental Quality* [en línea]. 3ª ed. S.l.: CRC Press, 2005. [Consulta: 7 julio 2022]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=ITHGHb5w-FgC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>.

**PISCITELLI, M.** *Degradación de suelos* [blog]. UNICEN: 15 julio, 2015. [Consulta: 30 abril 2022].

**POLÓN, R.; et al.** "Métodos y modos de desecamiento de terrenos húmedos por excesivas precipitaciones y acumulación de agua". *Cultivos Tropicales* [en línea], 2018, (Cuba) 39(3), pp. 93-98. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 0258-5936. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v39n3/ctr15318.pdf>.

**PRIETO-MÉNDEZ, J.; et al.** "Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México". *Agronomía Mesoamericana* [en línea], 2013, (México) 24(1), pp. 83-91. [Consulta: 5 diciembre 2022]. ISSN 1021-7444. Disponible en: [http://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v24n01\\_083.pdf#:~:text=Indicadores%20e%20%20C3%ADndic es%20de%20calidad%20de%20los%20suelos,del%20horizonte%20superfi- cial%20reflejada%20por%20el%20indicador%20correspondiente](http://www.mag.go.cr/rev_meso/v24n01_083.pdf#:~:text=Indicadores%20e%20%20C3%ADndic es%20de%20calidad%20de%20los%20suelos,del%20horizonte%20superfi- cial%20reflejada%20por%20el%20indicador%20correspondiente).

**PRIETO MÉNDEZ, J.; et al.** "CONTAMINACIÓN Y FITOTOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS PROVENIENTES DE SUELOS Y AGUA". *Tropical and subtropical Agroecosystems* [en línea], 2009, (México) 10(1), pp. 29-44. [Consulta: 30 noviembre 2022]. ISSN 1870-0462. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>.

**PUSCHENREITER, M.; et al.** "Low cost agricultural measures to reduce heavy metal transfer into the food chain-a review". *Plant Soil Environ* [en línea], 2005, (Austria) 51(1), pp. 1-11. [Consulta: 28 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.agriculturejournals.cz/pdfs/pse/2005/01/01.pdf>.

**QUIROGA, A.; & BONO, A.** *Manual de fertilidad y evaluación de suelos* [en línea]. La Pampa-

Argentina: INTA, 2012. [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_pt\\_89\\_manual\\_de\\_fertilidad\\_1\\_\\_\\_1\\_.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_pt_89_manual_de_fertilidad_1___1_.pdf).

**RAMÍREZ-GERARDO, M.G.; et al.** "Caracterización de abonos orgánicos aplicados a cultivos florícolas en el sur del Estado de México". *Ciencia UAT* [en línea], 2021, (México) 16(1), pp.150-161. [Consulta: 11 enero 2023]. ISSN 2007-7521. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v16n1/2007-7858-cuat-16-01-150.pdf>

**RAMÍREZ, R.** *PROPIEDADES FÍSICAS QUÍMICAS y BIOLÓGICAS DE LOS SUELOS* [en línea]. Bogotá-Colombia: Produmedios, 1997. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>.

**RANGEL, J.G.; et al.** "Robust Soil Quality Index for Tropical Soils Influenced by Agricultural Activities". *Journal of Agricultural Chemistry and Environment* [en línea], 2017, (México) 6(4), pp. 199-221. [Consulta: 6 julio 2022]. ISSN 2325-7458. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/321129937\\_Robust\\_Soil\\_Quality\\_Index\\_for\\_Tropical\\_Soils\\_Influenced\\_by\\_Agricultural\\_Activities](https://www.researchgate.net/publication/321129937_Robust_Soil_Quality_Index_for_Tropical_Soils_Influenced_by_Agricultural_Activities).

**RAUDES, M.; & SAGASTUME, N.** *Manual Conservación de Suelos. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central* [en línea]. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano: Honduras, 2009. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo\\_3\\_Manual\\_Conseervacion\\_de\\_Suelos..pdf](https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_3_Manual_Conseervacion_de_Suelos..pdf).

**RESABALA, C.** *Inventario Nacional de Emisiones de Mercurio y de productos que contienen Mercurio* [en línea]. Ecuador: Ministerio del Ambiente, 2008. [Consulta: 5 enero 2022]. Disponible en: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11685/ECUADOR\\_Hg\\_Inventory\\_FIN\\_AL\\_report\\_SPANISH\\_Aug\\_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11685/ECUADOR_Hg_Inventory_FIN_AL_report_SPANISH_Aug_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

**ROJAS, R.V.** *Guía para la descripción de suelos* [en línea]. 4ª ed. Roma-Italia: FAO, 2009. [Consulta: 18 abril 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>.

**ROSS, S.M.** "Organic matter current tropical soils: conditions, concerns and prospects for conservation". *Progress in Physical Geography* [en línea], 1993, (United Kingdom) 17(3), pp. 265-305. [Consulta: 1 mayo 2022]. Disponible en:

<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/030913339301700301>.

**RUCKS, L.; et al.** *Propiedades Físicas del Suelo* [en línea]. Montevideo-Uruguay: Universidad de la República, 2004. [Consulta: 30 abril 2022]. Disponible en: <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>.

**RUSSELL, R.M.** *Micronutrient requirements of the elderly* [blog]. Nutrition Reviews: 1992. [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: <https://pi.oregonstate.edu/mic/life-stages/older-adults>

**SÁNCHEZ, S.; et al.** "Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso". *Pastos y Forrajes* [en línea], 2012, (Cuba) 35(2), pp. 125-137. [Consulta: 4 mayo 2022]. ISSN 0864-0394. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269125071001>.

**SARMIENTO, E.; et al.** "Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática". *Ecosistemas* [en línea], 2018, (Colombia) 27(3), pp. 130-139. [Consulta: 27 octubre 2022]. ISSN 1697-2473. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1598>.

**SEVILLANO, G.; et al.** *Memoria Técnica. Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional escalana 1: 25000* [en línea]. San Vicente-Ecuador: 2012. [Consulta: 1 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/san\\_vicente/mt\\_san\\_vicente\\_geopedologia.pdf](https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/san_vicente/mt_san_vicente_geopedologia.pdf).

**SHANSTROM, N.** *What is Soil Structure and Why is it Important?* [blog]. *deeproot*: 2021. [Consulta: 30 abril 2022]. Disponible en: <https://www.deeproot.com/blog/blog-entries/what-is-soil-structure-and-why-is-it-important-2/>.

**SIKALENGO, H.M.** 2016. *Effect of Soil pH on Germination of Maize Varieties* [en línea]. Tanzania: 2016. [Consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Happy-Sikalengo/publication/333507184\\_Effect\\_of\\_Soil\\_pH\\_on\\_Germination\\_of\\_Maize\\_Varieties/links/5cf0da84a6fdcc8475f8c935/Effect-of-Soil-pH-on-Germination-of-Maize-Varieties.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Happy-Sikalengo/publication/333507184_Effect_of_Soil_pH_on_Germination_of_Maize_Varieties/links/5cf0da84a6fdcc8475f8c935/Effect-of-Soil-pH-on-Germination-of-Maize-Varieties.pdf).

**SOPROCAL.** *Guía de uso Cal Agrícola* [en línea]. Valparaíso, 2019. [Consulta: 9 noviembre 2022]. Disponible en: [https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/\\_5cdc5dda3aa85.pdf](https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/_5cdc5dda3aa85.pdf).

**SPINK, J.; et al.** *Soil Organic Carbon : A review of «critical» levels and practices to increase levels in tillage land in Ireland* [en línea]. *Teagasc.Ie*, 2010, [Consulta: 29 julio 2022]. Disponible en: <https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2010/SoilOrganicCarbon.pdf>.

**SRIVASTAVA, V.; et al.** "Agroecological responses of heavy metal pollution with special emphasis on soil health and plant performances". *Frontiers in Environmental Science* [en línea], 2016, (India) 5(64), pp. 1-19. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 2296-665X. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2017.00064/full>.

**TORRES, B.; et al.** "Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* [en línea], 2017, (Ecuador) 37(2), pp. 1-16. [Consulta: 25 julio 2022]. ISSN 1695-7504. Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/57725/51988>.

**TÓTH, G.; et al.** "Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety". *Environment International* [en línea], 88(2016), pp. 299-309. [Consulta: 25 julio 2022]. ISSN 1873-6750. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/292948976\\_Heavy\\_metals\\_in\\_agricultural\\_soils\\_of\\_the\\_European\\_Union\\_with\\_implications\\_for\\_food\\_safety](https://www.researchgate.net/publication/292948976_Heavy_metals_in_agricultural_soils_of_the_European_Union_with_implications_for_food_safety).

**TULSMA.** *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Libro VI, Anexo 2: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados.*

**UNLP.** *El suelo : un universo invisible* [en línea]. La Plata-Argentina: 2020. [Consulta: 1 mayo 2022]. Disponible en: <https://unlp.edu.ar/frontend/media/98/27598/3f23fc987dbbeda82587753c9796000a.pdf>.

**USDA.** *Soil quality indicators: Soil structure & macropores* [en línea]. Helping People Help the Land: 2008. [Consulta: 9 diciembre 2022]. Disponible en: [https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil Structure and Macropores.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Structure%20and%20Macropores.pdf). 2008

**USDA.** *Soil Quality Indicators* [en línea]. S.l.: 2011. Disponible en: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Electrical%20Conductivity.pdf>

**USDA.** *Nutrient Management Standards 590* [en línea]. S.l.: 2013. [Consulta: 9 agosto 2022]. Disponible en: <https://datcp.wi.gov/Documents/NM590Standard2015.pdf>.

**USDA.** *Soil Survey Manual Agriculture* [en línea]. USDA, Natural Resources Conservation Servicen: 2017. [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf>.

**USDA y NRCS.** *Inherent Factors Affecting Soil pH* [en línea]. CropWatch: 2014. [Consulta: 20 agosto 2022]. Disponible en: [https://cropwatch.unl.edu/documents/USDA\\_NRCS\\_pH\\_guide\\_edit\\_6\\_3\\_14.pdf](https://cropwatch.unl.edu/documents/USDA_NRCS_pH_guide_edit_6_3_14.pdf).

**VALLEJO, V.E.** "Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos a través del componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles". *Colombia Forestal* [en línea], 2013, (Colombia) 16(1), pp. 83-99. [Consulta: 29 abril 2022]. ISSN 2256-201X. DOI 10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2013.1.a06. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/colfor/issue/view/406>.

**VAN VLIET, J.A.; et al.** *Mineral Nutrition of Cocoa: A Review. Advances in Agronomy* [en línea]. Wageningen-Países Bajos: Wageningen University-Research Centre, 2015. [Consulta: 9 agosto 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/283398075\\_Mineral\\_nutrition\\_of\\_cocoa\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/283398075_Mineral_nutrition_of_cocoa_a_review).

**VIDAL, J.V.; et al.** "Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*)". *Ingeniería y desarrollo* [en línea], 2010, (Colombia) 27, pp. 113-129. [Consulta: 23 diciembre 2022]. ISSN: 0122-3461. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85215207007>.

**VIGNOLA, R.; et al.** "Decision-making by farmers regarding ecosystem services: Factors affecting soil conservation efforts in Costa Rica". *Política de uso de la tierra* [en línea], 2010, (Costa Rica) 27(4), pp. 1132-1142. [Consulta: 6 julio 2022]. ISSN 02648377. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/222529574\\_Decision-making\\_by\\_farmers\\_regarding\\_ecosystem\\_services\\_Factors\\_affecting\\_soil\\_conservation\\_efforts\\_in\\_Costa\\_Rica](https://www.researchgate.net/publication/222529574_Decision-making_by_farmers_regarding_ecosystem_services_Factors_affecting_soil_conservation_efforts_in_Costa_Rica).

**VILLADA, K.; & TOBON, J.** Determinación del desarrollo del cultivo de banano bajo 2 tratamientos de aireación de suelo y aporte de materia orgánica en la finca bonito amanecer del

Municipio de Chiorodó (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). [en línea] Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Antioquia-Colombia. 2016. pp. 17-19 [Consulta: 9 diciembre 2022]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/6458/1040355478.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

**VILLASEÑOR, D.** *Fundamentos y procedimientos para análisis físicos y morfológicos del suelo* [en línea]. Machala-Ecuador: Universidad Técnica de Machala, 2016. [Consulta: 9 julio 2022]. Disponible en: [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS Y PROCEDIMIENTOS.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10690/1/FUNDAMENTOS_Y_PROCEDIMIENTOS.pdf).

**VIRGINIO, E.F.; et al.** *Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana* [en línea]. CATIE-INIAP: 2014. [Consulta: 9 enero 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/271203962\\_Agroforesteria\\_Sostenible\\_en\\_la\\_Amazonia\\_Ecuatoriana#:~:text=En la Amazonía%2C las iniciativas,en el manejo de sistemas](https://www.researchgate.net/publication/271203962_Agroforesteria_Sostenible_en_la_Amazonia_Ecuatoriana#:~:text=En la Amazonía%2C las iniciativas,en el manejo de sistemas).

**VIVAS, I.E.; et al.** "Manejo del Suelo". *Apuntes de Agronomía I* [en línea]. Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo, 2014. pp. 1-83. [Consulta: 4 mayo 2022]. Disponible en: <http://prepa.chapingo.mx/wp-content/uploads/2019/01/ANTOLOGIA-IIV1.pdf>.

**WILSON, M.G.** *Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina* [en línea]. Entre Ríos-Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), 2017. [Consulta: 4 agosto 2022]. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/manual\\_ics\\_final.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/manual_ics_final.pdf).

**YAN, A.; et al.** "Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land". *Frontiers in Plant Science* [en línea], 2020, (Singapur) 11(359), pp. 1-11. [Consulta: 5 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2020.00359/full>

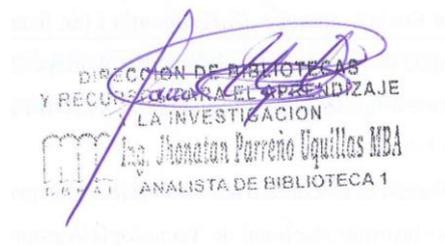
**YOUNG, D.; & VAN SETERS, T.** *Preserving and Restoring Healthy Soil : Best Practices for Urban Construction* [en línea]. Toronto-Cánada: TRCA, 2012. [Consulta: 8 enero 2023]. Disponible en: [https://sustainabletechnologies.ca/app/uploads/2013/02/TRCA\\_2012\\_Preserving-and-Restoring-Healthy-Soil\\_Full-Report-REDUCED.pdf](https://sustainabletechnologies.ca/app/uploads/2013/02/TRCA_2012_Preserving-and-Restoring-Healthy-Soil_Full-Report-REDUCED.pdf).

**ZEWDIE, I.; & RETA, Y.** "Review on the role of soil macronutrient (NPK) on the improvement

and yield and quality of agronomic crops". *Agriculture and Food Science* [en línea], 2021, (Etiopía) 9(1), pp. 7-11. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 2354-4147. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/349554449\\_Review\\_on\\_the\\_role\\_of\\_soil\\_macronutrient\\_NPK\\_on\\_the\\_improvement\\_and\\_yield\\_and\\_quality\\_of\\_agronomic\\_crops](https://www.researchgate.net/publication/349554449_Review_on_the_role_of_soil_macronutrient_NPK_on_the_improvement_and_yield_and_quality_of_agronomic_crops).

**ZHAO, H.; et al.** "Comprehensive assessment of harmful heavy metals in contaminated soil in order to score pollution level". *Scientific Reports* [en línea], 2022, (China) 12(1), pp. 1-13. [Consulta: 9 julio 2022]. ISSN 2045-2322. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/358979910\\_Comprehensive\\_assessment\\_of\\_harmful\\_heavy\\_metals\\_in\\_contaminated\\_soil\\_in\\_order\\_to\\_score\\_pollution\\_level](https://www.researchgate.net/publication/358979910_Comprehensive_assessment_of_harmful_heavy_metals_in_contaminated_soil_in_order_to_score_pollution_level).

**ZHAO, Q.; et al.** "Long-Term Coffee Monoculture Alters Soil Chemical Properties and Microbial Communities". *Scientific Reports* [en línea], 2018, (China) 8(1), pp. 1-12. [Consulta: 9 agosto 2022]. ISSN 2045-2322. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/324571721\\_Long-Term\\_Coffee\\_Monoculture\\_Alters\\_Soil\\_Chemical\\_Properties\\_and\\_Microbial\\_Communities](https://www.researchgate.net/publication/324571721_Long-Term_Coffee_Monoculture_Alters_Soil_Chemical_Properties_and_Microbial_Communities).



## ANEXOS

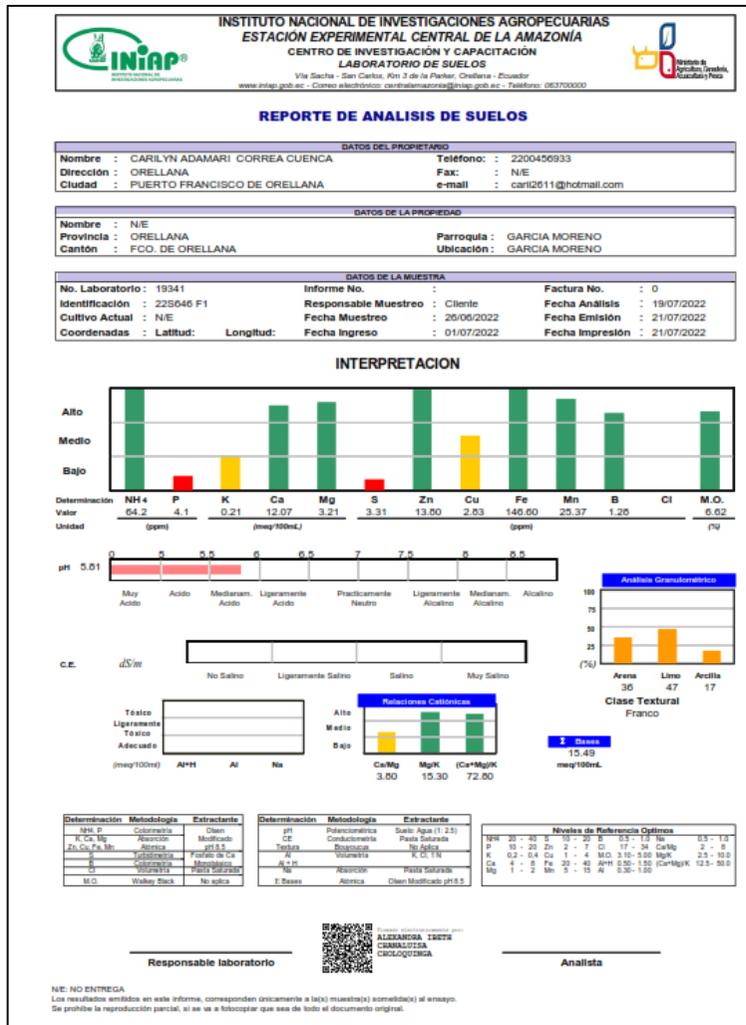
### ANEXO A. DESARROLLO DE FASE DE CAMPO O RECOLECCIÓN DE MUESTRAS



**ANEXO B. DESARROLLO DE LA FASE DE LABORATORIO**



## ANEXO C. RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS SUELOS F1 Y F2, REALIZADOS EN INIAP

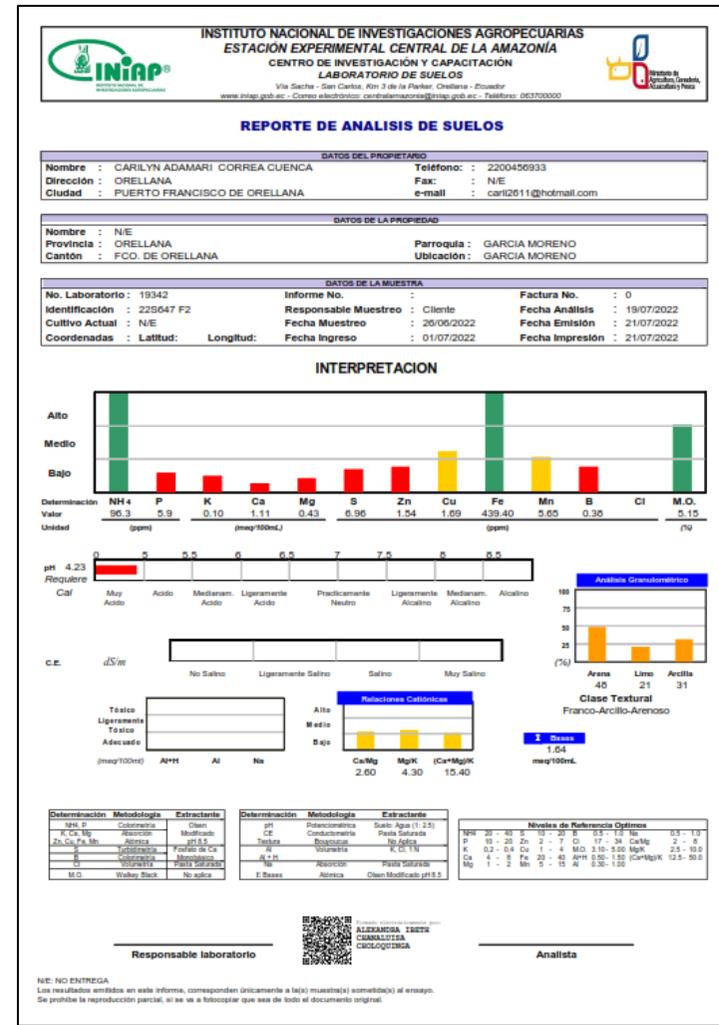




Responsable laboratorio



Analista



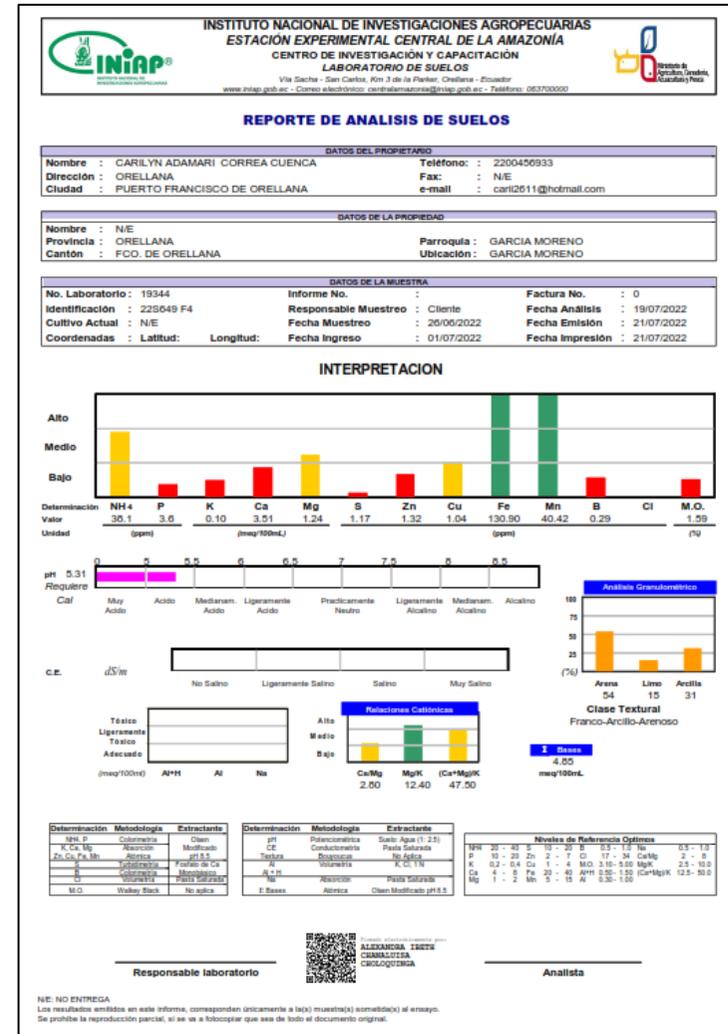
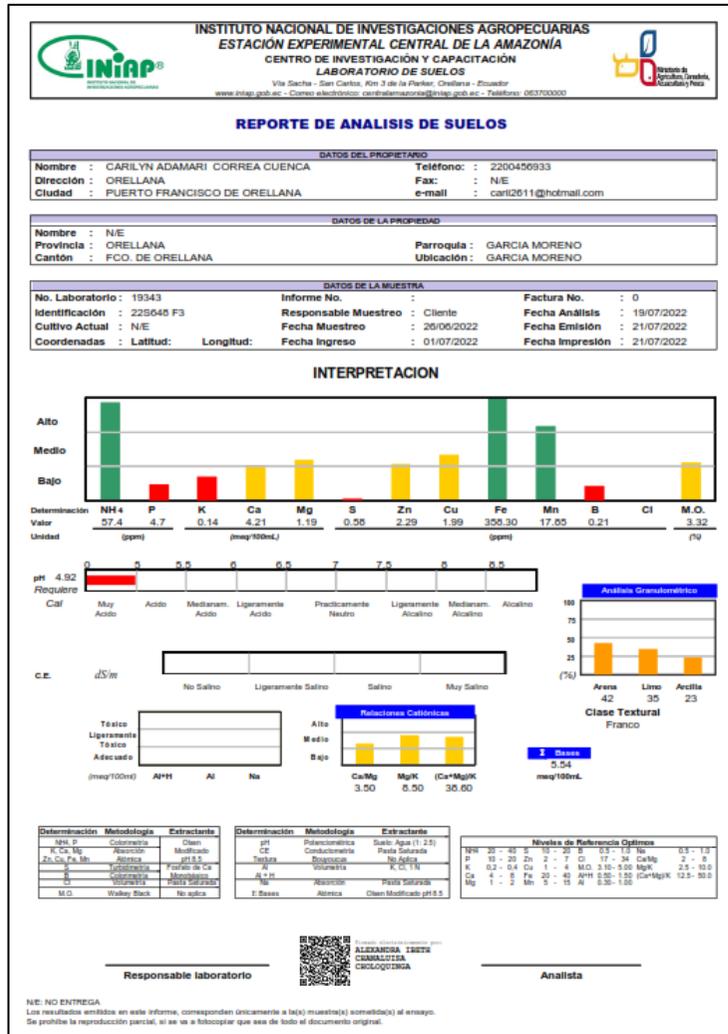


Responsable laboratorio



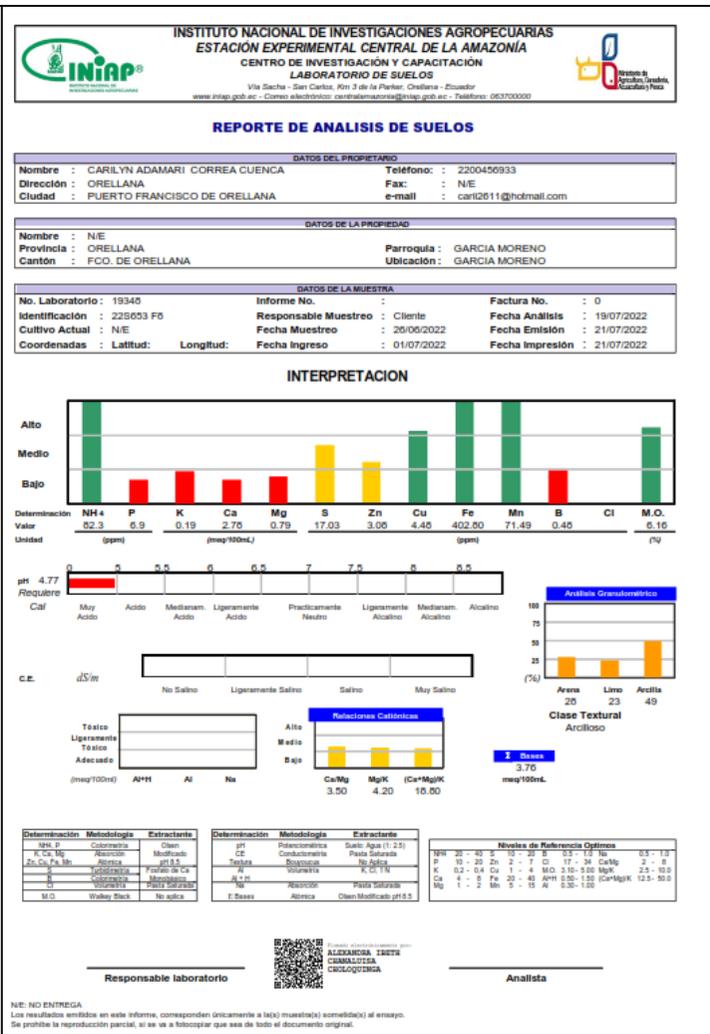
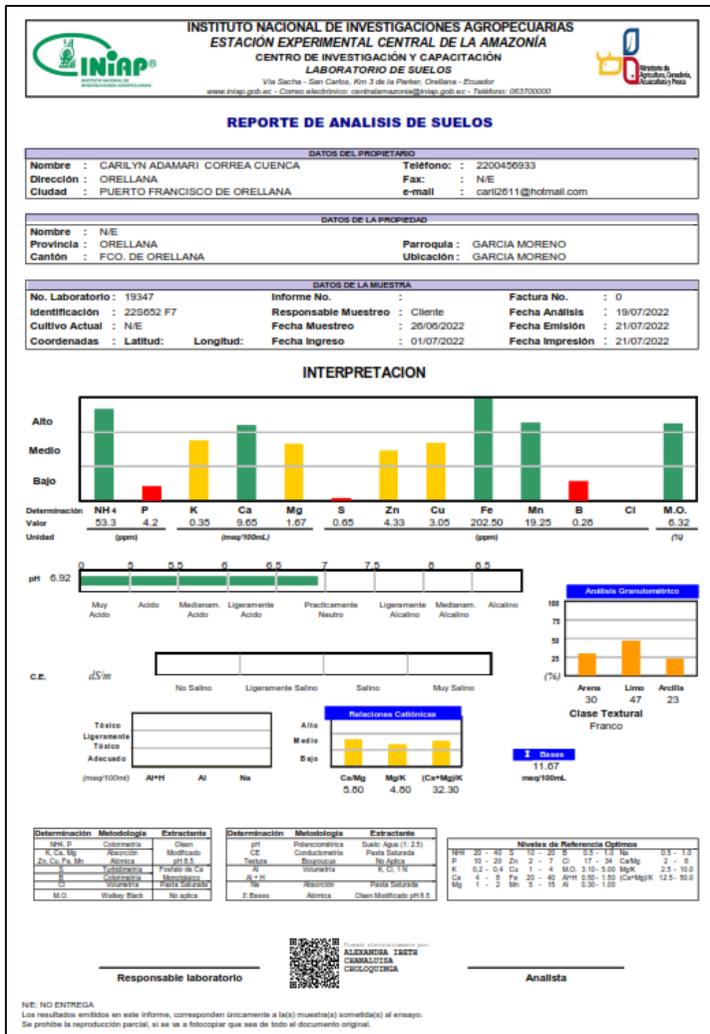
Analista

## ANEXO D. RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS SUELOS F3 Y F4, REALIZADOS EN INIAP

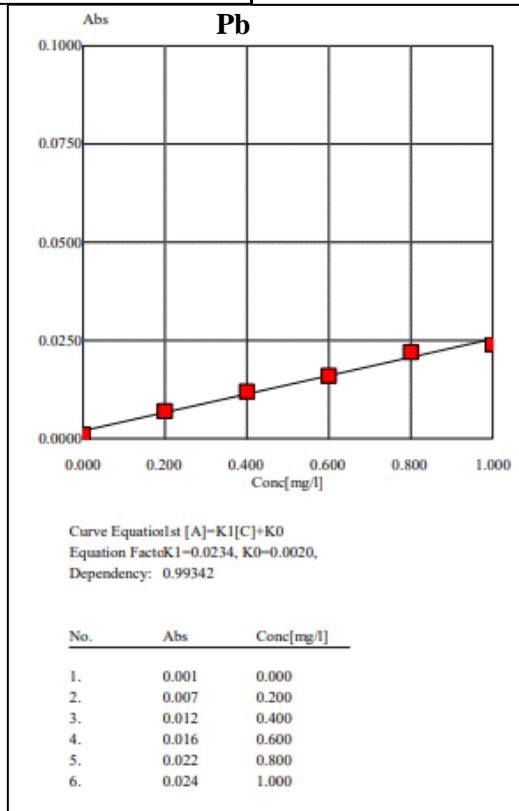
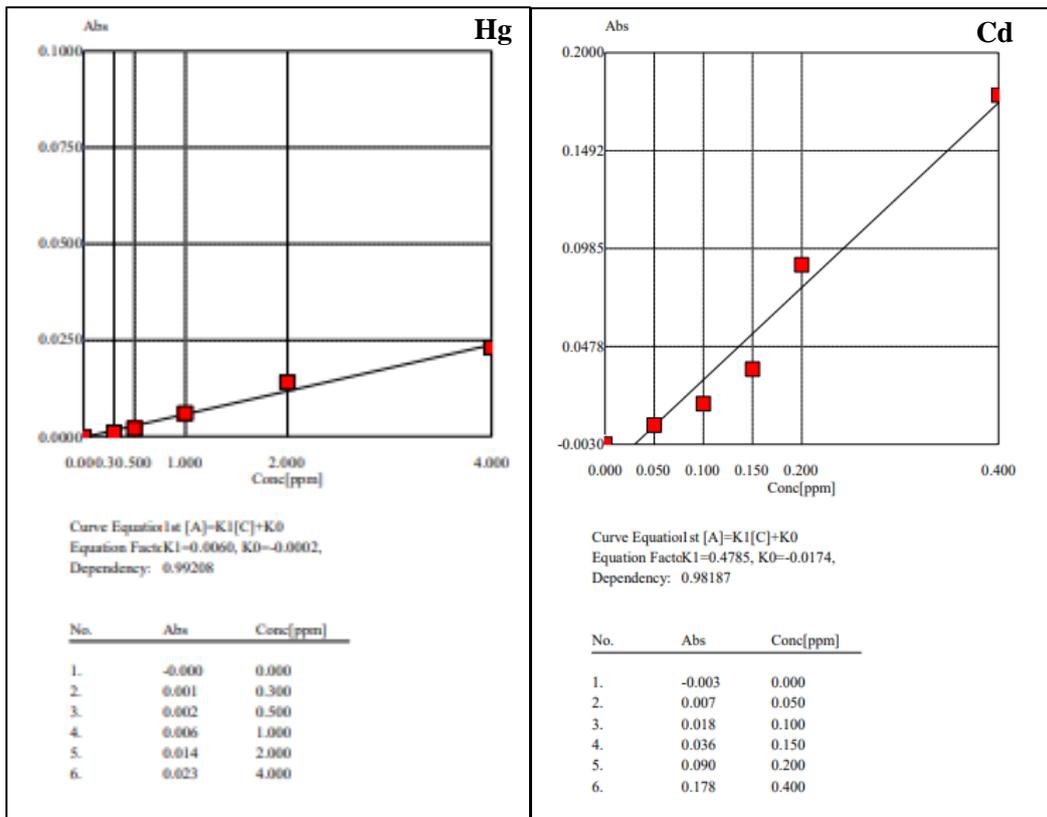




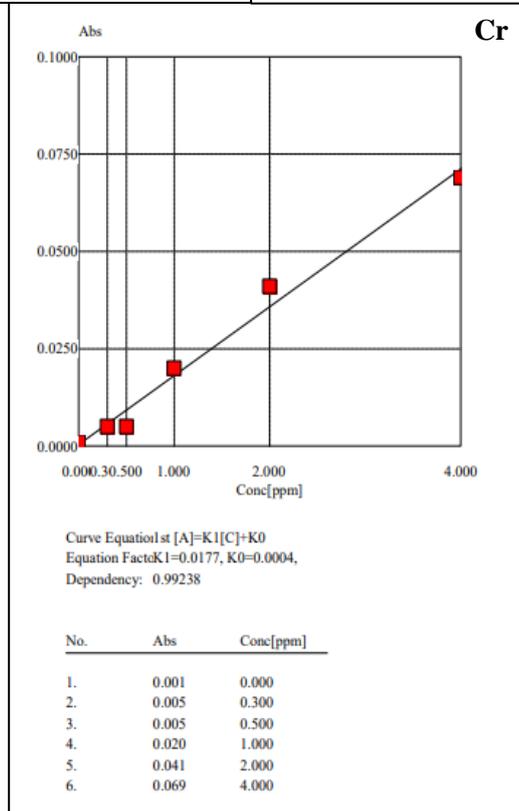
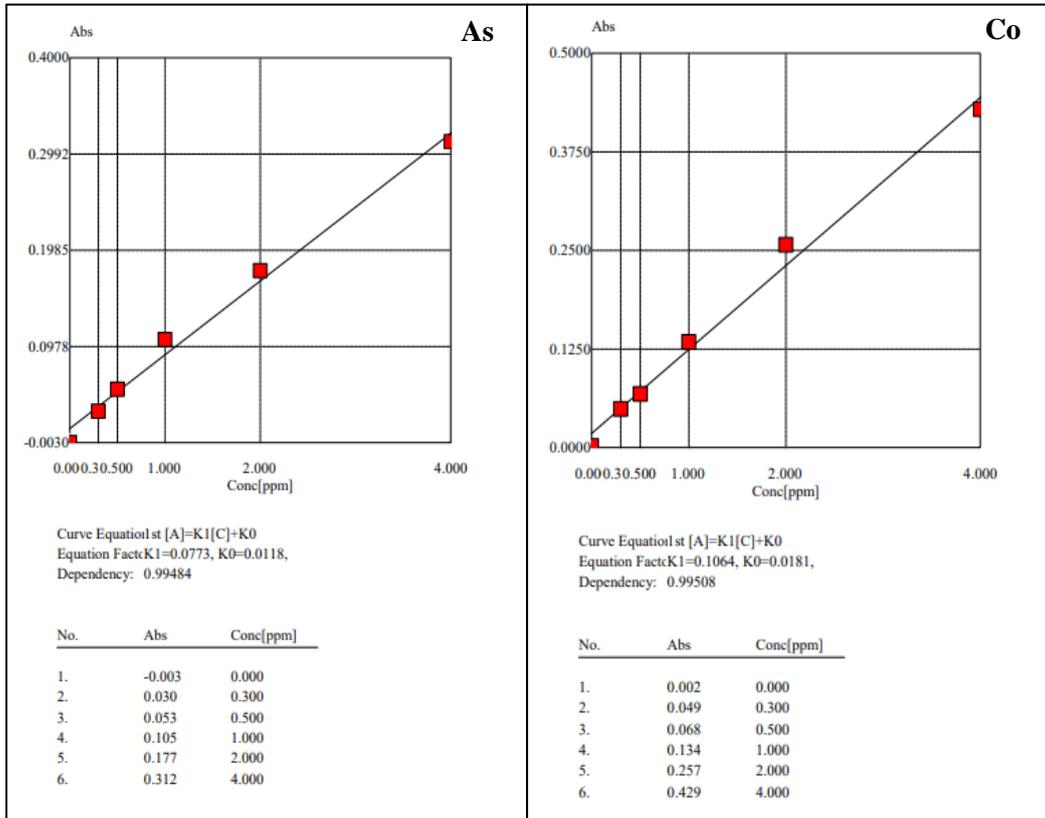
## ANEXO F. RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS SUELOS F7 Y F8, REALIZADOS EN INIAP



**ANEXO G. CURVAS DE CALIBRACIÓN DE METALES PESADOS: MERCURIO (HG), PLOMO (PD) Y CADMIO (CD).**



**ANEXO H. CURVAS DE CALIBRACIÓN DE METALES PESADOS: ARSÉNICO (AS), CROMO (CR) Y COBALTO (CO).**



**ANEXO I. RESULTADOS DE HUMEDAD, COLOR Y METALES PESADOS DEL  
LABORATORIO DE ESPOCH CORRESPONDIENTES A LAS FINCAS F1, F2,  
F3 Y F4.**

INFORME DE LABORATORIO				INFORME DE LABORATORIO			
<b>INFORME No. 001</b> <b>Solicitante:</b> Carilyn Correa Cuenca <b>Dirección:</b> Parroquia García Moreno <b>Fecha de muestreo:</b> 18/06/2022 <b>Coordenadas:</b> <b>Tipo de muestra:</b> Suelo		<b>Fecha de emisión:</b> 10/08/2022 <b>Teléfono:</b> 0997831070 <b>Lugar de muestreo:</b> Comunidad García Moreno <b>Identificación de la muestra:</b> Suelo agrícola - F1 <b>Condiciones de muestra:</b> Ambiente		<b>INFORME No. 001</b> <b>Solicitante:</b> Carilyn Correa Cuenca <b>Dirección:</b> Parroquia García Moreno <b>Fecha de muestreo:</b> 18/06/2022 <b>Coordenadas:</b> <b>Tipo de muestra:</b> Suelo		<b>Fecha de emisión:</b> 10/08/2022 <b>Teléfono:</b> 0997831070 <b>Lugar de muestreo:</b> Comunidad García Moreno <b>Identificación de la muestra:</b> Suelo agrícola - F2 <b>Condiciones de muestra:</b> Ambiente	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS				ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS			
ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS OBTENIDOS	UNIDADES	ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS OBTENIDOS	UNIDADES
Humedad	Gravimétrico	26,26	%	Humedad	Gravimétrico	19,90	%
Color	Munsell	Dark red - Rojo oscuro	Color	Color	Munsell	Yellowish brown - Café amarillento	Color
Mercurio	Absorción atómica	1.033	ppm	Mercurio	Absorción atómica	1.033	ppm
Cromo	Absorción atómica	0.203	ppm	Cromo	Absorción atómica	0.090	ppm
Plomo	Absorción atómica	0.232	ppm	Plomo	Absorción atómica	0.270	ppm
Cadmio	Absorción atómica	0.072	ppm	Cadmio	Absorción atómica	0.043	ppm
Cobalto	Absorción atómica	No detectado	ppm	Cobalto	Absorción atómica	No detectado	ppm
Arsénico	Absorción atómica	0.332	ppm	Arsénico	Absorción atómica	0.474	ppm
INFORME DE LABORATORIO				INFORME DE LABORATORIO			
<b>INFORME No. 001</b> <b>Solicitante:</b> Carilyn Correa Cuenca <b>Dirección:</b> Parroquia García Moreno <b>Fecha de muestreo:</b> 18/06/2022 <b>Coordenadas:</b> <b>Tipo de muestra:</b> Suelo		<b>Fecha de emisión:</b> 10/08/2022 <b>Teléfono:</b> 0997831070 <b>Lugar de muestreo:</b> Comunidad García Moreno <b>Identificación de la muestra:</b> Suelo agrícola - F3 <b>Condiciones de muestra:</b> Ambiente		<b>INFORME No. 001</b> <b>Solicitante:</b> Carilyn Correa Cuenca <b>Dirección:</b> Parroquia García Moreno <b>Fecha de muestreo:</b> 18/06/2022 <b>Coordenadas:</b> <b>Tipo de muestra:</b> Suelo		<b>Fecha de emisión:</b> 10/08/2022 <b>Teléfono:</b> 0997831070 <b>Lugar de muestreo:</b> Comunidad García Moreno <b>Identificación de la muestra:</b> Suelo agrícola - F4 <b>Condiciones de muestra:</b> Ambiente	
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS				ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS			
ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS OBTENIDOS	UNIDADES	ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS OBTENIDOS	UNIDADES
Humedad	Gravimétrico	21,21	%	Humedad	Gravimétrico	10,38	%
Color	Munsell	Brown - Café	Color	Color	Munsell	Brown - Café	Color
Mercurio	Absorción atómica	1.033	ppm	Mercurio	Absorción atómica	0.367	ppm
Cromo	Absorción atómica	0.090	ppm	Cromo	Absorción atómica	0.260	ppm
Plomo	Absorción atómica	0.082	ppm	Plomo	Absorción atómica	0.307	ppm
Cadmio	Absorción atómica	0.032	ppm	Cadmio	Absorción atómica	0.043	ppm
Cobalto	Absorción atómica	No detectado	ppm	Cobalto	Absorción atómica	0.140	ppm
Arsénico	Absorción atómica	No detectado	ppm	Arsénico	Absorción atómica	0.271	ppm

**ANEXO J. RESULTADOS DE HUMEDAD, COLOR Y METALES PESADOS DEL  
LABORATORIO DE ESPOCH CORRESPONDIENTES A LAS FINCAS F5, F6,  
F7 Y F8.**

INFORME DE LABORATORIO				INFORME DE LABORATORIO			
INFORME No. 001		Fecha de emisión: 10/08/2022		INFORME No. 001		Fecha de emisión: 10/08/2022	
Solicitante: Carilyn Correa Cuenca		Teléfono: 0997831070		Solicitante: Carilyn Correa Cuenca		Teléfono: 0997831070	
Dirección: Parroquia García Moreno		Lugar de muestreo: Comunidad García Moreno		Dirección: Parroquia García Moreno		Lugar de muestreo: Comunidad García Moreno	
Fecha de muestreo: 19/06/2022		Identificación de la muestra: Suelo agrícola - F5		Fecha de muestreo: 19/06/2022		Identificación de la muestra: Suelo agrícola - F6	
Coordenadas:		Condiciones de muestra: Ambiente		Coordenadas:		Condiciones de muestra: Ambiente	
Tipo de muestra: Suelo				Tipo de muestra: Suelo			
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS				ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS			
ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS OBTENIDOS	UNIDADES	ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS OBTENIDOS	UNIDADES
Humedad	Gravimétrico	18,62	%	Humedad	Gravimétrico	29,37	%
Color	Munsell	Dusky red - Rojo oscuro	Color	Color	Munsell	Dark reddish Brown - Café rojizo oscuro	Color
Mercurio	Absorción atómica	1.033	ppm	Mercurio	Absorción atómica	1.367	ppm
Cromo	Absorción atómica	0.373	ppm	Cromo	Absorción atómica	0.429	ppm
Plomo	Absorción atómica	0.307	ppm	Plomo	Absorción atómica	0.270	ppm
Cadmio	Absorción atómica	0.089	ppm	Cadmio	Absorción atómica	0.045	ppm
Cobalto	Absorción atómica	0.262	ppm	Cobalto	Absorción atómica	0.243	ppm
Arsénico	Absorción atómica	0.453	ppm	Arsénico	Absorción atómica	0.494	ppm
INFORME DE LABORATORIO				INFORME DE LABORATORIO			
INFORME No. 001		Fecha de emisión: 10/08/2022		INFORME No. 001		Fecha de emisión: 10/08/2022	
Solicitante: Carilyn Correa Cuenca		Teléfono: 0997831070		Solicitante: Carilyn Correa Cuenca		Teléfono: 0997831070	
Dirección: Parroquia García Moreno		Lugar de muestreo: Comunidad García Moreno		Dirección: Parroquia García Moreno		Lugar de muestreo: Comunidad García Moreno	
Fecha de muestreo: 19/06/2022		Identificación de la muestra: Suelo agrícola - F7		Fecha de muestreo: 19/06/2022		Identificación de la muestra: Suelo agrícola - F8	
Coordenadas:		Condiciones de muestra: Ambiente		Coordenadas:		Condiciones de muestra: Ambiente	
Tipo de muestra: Suelo				Tipo de muestra: Suelo			
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS				ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS			
ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS OBTENIDOS	UNIDADES	ANÁLISIS	MÉTODO	RESULTADOS OBTENIDOS	UNIDADES
Humedad	Gravimétrico	40,85	%	Humedad	Gravimétrico	28,21	%
Color	Munsell	Weak red - Rojo débil	Color	Color	Munsell	Dusky red - Rojo oscuro	Color
Mercurio	Absorción atómica	1.700	ppm	Mercurio	Absorción atómica	1.033	ppm
Cromo	Absorción atómica	0.316	ppm	Cromo	Absorción atómica	0.825	ppm
Plomo	Absorción atómica	0.232	ppm	Plomo	Absorción atómica	0.345	ppm
Cadmio	Absorción atómica	0.059	ppm	Cadmio	Absorción atómica	0.032	ppm
Cobalto	Absorción atómica	0.140	ppm	Cobalto	Absorción atómica	0.102	ppm
Arsénico	Absorción atómica	0.879	ppm	Arsénico	Absorción atómica	0.474	ppm



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22 / 05 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Carilyn Adamari Correa Cuenca
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniera Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS  
Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE  
LA INVESTIGACIÓN  
Ing. Jhonatan Parreño Uquillas MDA  
ANALISTA DE BIBLIOTECA 1

0738-DBRA-UTP-2023