



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

**CALIDAD DEL SUELO MEDIANTE INDICADORES FÍSICOS,  
QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL PARQUE BOTÁNICO DEL  
CANTÓN SUCÚA.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:**

**ERIK JAVIER RIERA GUACHICHULLCA**

Macas – Ecuador

2022



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

**CALIDAD DEL SUELO MEDIANTE INDICADORES FÍSICOS,  
QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL PARQUE BOTÁNICO DEL  
CANTÓN SUCÚA.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR:** ERIK JAVIER RIERA GUACHICHULLCA

**DIRECTOR:** Ing. WILLIAM ESTUARDO CARRILLO BARAHONA MsC.

Macas – Ecuador

2022

**©2022, Erik Javier Riera Guachichulca**

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

Yo, ERIK JAVIER RIERA GUACHICHULLCA, 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 autor 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.

Macas, 20 de diciembre de 2022

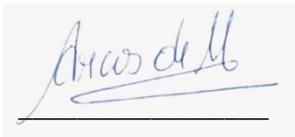
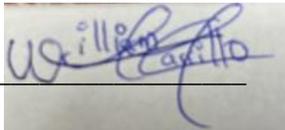
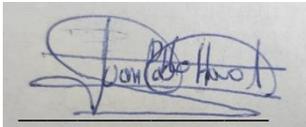


**Erik Javier Riera Guachichullca**

**140108397-5**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **CALIDAD DEL SUELO POR MÉTODOS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL PARQUE BOTÁNICO DEL CANTÓN SUCÚA**, realizado por el señor: **ERIK JAVIER RIERA GUACHICHULLCA**, 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. Jessica Paola Arcos Logroño MsC. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-12-20
Ing. William Estuardo Carrillo Barahona MsC. <b>DIRECTOR(A) DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2022-12-20
Ing. Juan Pablo Haro Altamirano Ph.D <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-12-20

## **DEDICATORIA**

En lo más sincero de mi corazón dedico el presente trabajo de Integración Curricular a todas las personas que confiaron en mí y en la capacidad que tuve para culminar mi estudio a pesar de las adversidades presentadas en el proceso. En especial a mis padres quienes me han brindado apoyo y fortaleza para seguir adelante por buen camino y alcanzar mis metas. A mis hermanas y hermano quienes con sus consejos y acciones me han motivado en los estudios para que no tome caminos equivocados. A mis amigos quienes me apoyaron a lo largo del proceso para lograr que se cumpla mi anhelado sueño.

Erik

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios, por permitirme culminar una valiosa etapa en mi formación académica. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo sede Morona Santiago, por la formación profesional que recibí dentro de sus instalaciones.

El más sincero agradecimiento a mis padres José y Blanca por enseñarme a ser responsable y brindarme el apoyo suficiente para poder estudiar.

A mis hermanas(os) mayores Gabriela, Valeria, Johana y Daniel quienes en los momentos más difíciles me dieron palabras de aliento para continuar y han sido mi motivación para dedicarme en los estudios tal como lo han hecho ellos y espero servir de ejemplo para mis hermanas menores Emily y Daniela. A mis abuelitos y tíos(as) maternos y paternos que me han apoyado y se han preocupado por mí en especial a Melva quien ha sido muy generosa con mi familia.

Extiendo un agradecimiento a mis mejores amigos Paúl y Eduardo quienes me ayudaron durante la investigación; a Jairo, Oscar, Bolívar, Erick, Pamela, Jennifer y Anthony con quienes he compartido bellos momentos a lo largo de mi estudio universitario, también un grato agradecimiento a mi novia Nathaly que siempre me ha estado apoyando.

A todos los docentes que me han compartido sus enseñanzas. Al Ing. William Carrillo y Ing. Juan Haro por dirigirme durante la ejecución del proyecto de investigación y también de manera especial al Dr. Mauricio Álvarez quien fue mi guía en los análisis de laboratorio.

Erik

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Limitaciones y delimitaciones .....	3
1.3. Problema general de investigación .....	3
1.4. Problemas específicos de investigación .....	4
1.5. Objetivos .....	4
1.5.1. <i>Objetivo General</i> .....	4
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	4
1.6. Justificación .....	4
1.6.1. <i>Justificación teórica</i> .....	4
1.7. Hipótesis .....	5

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes de la investigación .....	6
2.2. Bases conceptuales .....	7
2.2.1. <i>Suelos forestales</i> .....	7
2.2.2. <i>Calidad del suelo</i> .....	7
2.2.3. <i>Funciones del suelo</i> .....	7
2.2.4. <i>Clasificación del suelo</i> .....	7
2.2.5. <i>Muestreo de suelos</i> .....	9
2.3. Bases teóricas .....	9

2.3.1.	<b>Recurso suelo</b> .....	9
2.3.2.	<b>Importancia del suelo</b> .....	9
2.3.3.	<b>Índice de calidad del suelo</b> .....	10
2.3.4.	<b>Indicadores de la calidad del suelo</b> .....	10
2.3.5.	<b>Indicadores físicos</b> .....	11
2.3.5.1.	<i>Densidad Aparente</i> .....	11
2.3.5.2.	<i>Textura</i> .....	11
2.3.5.3.	<i>Color</i> .....	12
2.3.5.4.	<i>Estructura</i> .....	13
2.3.6.	<b>Indicadores Químicos</b> .....	13
2.3.6.1.	<i>Materia Orgánica del suelo</i> .....	13
2.3.6.2.	<i>Potencial Hidrógeno (pH)</i> .....	14
2.3.6.3.	<i>Carbono orgánico en el suelo (COS)</i> .....	14
2.3.6.4.	<i>Conductividad Eléctrica</i> .....	15
2.3.6.5.	<i>Nitrógeno</i> .....	15
2.3.6.6.	<i>Fósforo</i> .....	16
2.3.6.7.	<i>Potasio</i> .....	16
2.3.7.	<b>Indicadores Biológicos</b> .....	17
2.3.7.1.	<i>Biodiversidad</i> .....	17
2.3.7.2.	<i>Macrofauna edáfica</i> .....	17
2.3.7.3.	<i>Detritívoros</i> .....	17
2.3.7.4.	<i>Herbívoros y depredadores</i> .....	18
2.3.7.5.	<i>Ingenieros del suelo</i> .....	18
2.3.7.6.	<i>Evaluación biológica de la calidad del suelo</i> .....	19
2.3.8.	<b>Índices de diversidad</b> .....	19
2.3.8.1.	<i>Índice de abundancia relativa</i> .....	19
2.3.8.2.	<i>Índice de diversidad de Simpson</i> .....	20
2.3.8.3.	<i>Índice de Shannon – Wiener</i> .....	20
2.4.	<b>Marco Legal</b> .....	20
2.4.1.	<b>Constitución de la República del Ecuador</b> .....	21
2.4.1.1.	<i>Derechos del buen vivir</i> .....	21
2.4.1.2.	<i>Título VII: Régimen del buen vivir</i> .....	21
2.4.2.	<b>Acuerdo No. 097 Anexo 2 (Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente).</b> ....	21

### CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.</b>	<b>Enfoque de Investigación.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2.</b>	<b>Nivel de Investigación.....</b>	<b>23</b>
<b>3.3.</b>	<b>Tipo de Estudio.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4.</b>	<b>Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra.....</b>	<b>24</b>
<b>3.4.1.</b>	<i>Área de Estudio.....</i>	<i>24</i>
<b>3.4.2.</b>	<i>Selección de la muestra.....</i>	<i>24</i>
<b>3.4.2.1.</b>	<i>Muestreo Aleatorio Simple.....</i>	<i>24</i>
<b>3.4.2.2.</b>	<i>Puntos de Muestreo.....</i>	<i>25</i>
<b>3.4.3.</b>	<i>Tamaño de la muestra.....</i>	<i>25</i>
<b>3.5.</b>	<b>Métodos, Técnicas e Instrumentos de Investigación.....</b>	<b>25</b>
<b>3.5.1.</b>	<i>Fuentes de información.....</i>	<i>25</i>
<b>3.5.2.</b>	<i>Técnicas de recolección de datos.....</i>	<i>25</i>
<b>3.6.3.</b>	<i>Materiales y Equipos usados para el muestreo de suelos.....</i>	<i>25</i>
<b>3.6.3.1.</b>	<i>Materiales de campo.....</i>	<i>25</i>
<b>3.6.3.2.</b>	<i>Equipos.....</i>	<i>26</i>
<b>3.6.3.3.</b>	<i>Materiales de oficina.....</i>	<i>26</i>
<b>3.6.3.4.</b>	<i>Reactivos.....</i>	<i>26</i>
<b>3.6.4.</b>	<b>Recolección de muestras de suelo.....</b>	<b>26</b>
<b>3.6.4.1.</b>	<i>Procedimiento de recolección de muestras.....</i>	<i>26</i>
<b>3.6.5.</b>	<b>Identificación de la Macrofauna.....</b>	<b>27</b>
<b>3.6.5.1.</b>	<i>Evaluación biológica de la calidad del suelo.....</i>	<i>27</i>
<b>3.6.5.2.</b>	<i>Índice de Abundancia Relativa.....</i>	<i>28</i>
<b>3.6.5.3.</b>	<i>Índice de la Diversidad de Simpson.....</i>	<i>28</i>
<b>3.6.5.3.</b>	<i>Índice de la Diversidad de Shannon – Wiener.....</i>	<i>28</i>
<b>3.6.6.</b>	<b>Caracterización Físico-Química del suelo.....</b>	<b>29</b>
<b>3.6.6.1.</b>	<i>Densidad Aparente.....</i>	<i>29</i>
<b>3.6.6.2.</b>	<i>Conductividad Eléctrica.....</i>	<i>30</i>
<b>3.6.6.3.</b>	<i>pH.....</i>	<i>30</i>
<b>3.6.6.4.</b>	<i>Humedad.....</i>	<i>30</i>
<b>3.6.6.5.</b>	<i>Materia Orgánica.....</i>	<i>31</i>
<b>3.6.6.6.</b>	<i>Fósforo y Potasio.....</i>	<i>31</i>
<b>3.6.7.</b>	<b>Determinación del Índice de Calidad de Suelo (ICS).....</b>	<b>33</b>

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	35
<b>4.1.</b>	<b>Análisis de los parámetros Físicos del Parque Botánico</b> .....	35
<b>4.1.1.</b>	<i>Humedad</i> .....	35
<b>4.1.2.</b>	<i>Densidad Aparente</i> .....	36
<b>4.2.</b>	<b>Análisis de los parámetros Químicos</b> .....	36
<b>4.2.1.</b>	<i>pH</i> .....	36
<b>4.2.2.</b>	<i>Conductividad Eléctrica</i> .....	37
<b>4.2.3.</b>	<i>Materia Orgánica</i> .....	38
<b>4.2.3.</b>	<i>Fósforo Disponible</i> .....	39
<b>4.2.4.</b>	<i>Potasio Asimilable</i> .....	40
<b>4.3.</b>	<b>Índice de Calidad del Suelo</b> .....	41
<b>4.4.</b>	<b>Análisis de la Macrofauna Edáfica</b> .....	42
<b>4.4.1.</b>	<i>Índices de diversidad y su relación con la calidad biológica del suelo</i> .....	50
<b>4.4.1.1.</b>	<i>Índice de Abundancia Relativa</i> .....	51
<b>4.4.1.2.</b>	<i>Índice de Diversidad de Simpson</i> .....	51
<b>4.4.1.3.</b>	<i>Índice de Diversidad de Shannon – Wiener</i> .....	52
<b>4.4.1.4.</b>	<i>Evaluación de la calidad del suelo mediante indicadores biológicos</i> .....	53
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	54
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	55
	<b>GLOSARIO</b>	
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Clasificación principal de los suelos .....	8
<b>Tabla 2-2:</b>	Clase de calidad de suelos .....	10
<b>Tabla 3-2:</b>	Sistemas de clasificación de fracciones del suelo de acuerdo con la USDA .....	12
<b>Tabla 4-2:</b>	Escala y Evaluación del pH.....	14
<b>Tabla 5-2:</b>	Escala y Evaluación de la Conductividad Eléctrica .....	15
<b>Tabla 6-2:</b>	Escala de Interpretación del Fósforo disponible en el suelo .....	16
<b>Tabla 7-2:</b>	Escala de Evaluación del Potasio .....	17
<b>Tabla 8-2:</b>	Grupos que componen la macrofauna del suelo.....	18
<b>Tabla 9-2:</b>	Escala de Interpretación del Índice de diversidad de Simpson .....	20
<b>Tabla 10-2:</b>	Escala de Interpretación del Índice de diversidad de Shannon – Wiener.....	20
<b>Tabla 1-3:</b>	Materiales de campo usados en el muestreo de suelos.....	25
<b>Tabla 2-3:</b>	Equipos usados en el muestreo de suelos .....	26
<b>Tabla 3-3:</b>	Materiales de oficina usados en el muestreo de suelos .....	26
<b>Tabla 4-3:</b>	Reactivos usados para la conservación de la macrofauna .....	26
<b>Tabla 5-3:</b>	Parámetros considerados para la Evaluación del suelo del Parque Botánico .....	33
<b>Tabla 1-4:</b>	Indicadores e Índice de Calidad del Suelo .....	41
<b>Tabla 2-4:</b>	Indicadores de Calidad del Suelo de cada parámetro .....	42
<b>Tabla 3-4:</b>	Riqueza y Abundancia de la Macrofauna Edáfica .....	42
<b>Tabla 4-4:</b>	Macrofauna Edáfica del suelo del Parque Botánico.....	44
<b>Tabla 5-4:</b>	Grupos Funcionales de la Macrofauna Edáfica del Parque Botánico .....	49
<b>Tabla 6-4:</b>	Abundancia Relativa de la Macrofauna Edáfica .....	51
<b>Tabla 7-4:</b>	Diversidad de Simpson.....	51
<b>Tabla 8-4:</b>	Diversidad de Shannon - Wiener.....	52
<b>Tabla 9-4:</b>	Dominancia de los Índices de Diversidad biológica .....	53

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Sistema Munsell para identificar el color del suelo .....	12
<b>Ilustración 2-2:</b>	Estructura del suelo.....	13
<b>Ilustración 1-3:</b>	Mapa de ubicación del área de estudio y sus puntos de muestreo .....	24
<b>Ilustración 1-4:</b>	Medición y valor promedio de humedad del suelo .....	35
<b>Ilustración 2-4:</b>	Mediciones de Densidad Aparente y valor promedio del suelo.....	36
<b>Ilustración 3-4:</b>	Mediciones del pH y valor promedio del suelo .....	37
<b>Ilustración 4-4:</b>	Mediciones de la Conductividad Eléctrica y valor promedio del suelo.....	38
<b>Ilustración 5-4:</b>	Medición de la Materia Orgánica del Suelo y su valor promedio .....	39
<b>Ilustración 6-4:</b>	Medición del Fósforo Disponible del Suelo y su valor promedio .....	40
<b>Ilustración 7-4:</b>	Medición del Potasio del Suelo y su valor promedio.....	41
<b>Ilustración 8-4:</b>	Distribución de la Macrofauna en suelos del Parque Botánico .....	43

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-3:</b>	Ecuación para determinar la Calidad del suelo.....	27
<b>Ecuación 2-3:</b>	Ecuación para determinar la Calidad del suelo.....	28
<b>Ecuación 3-3:</b>	Ecuación para determinar la Abundancia Relativa.....	28
<b>Ecuación 4-3:</b>	Ecuación para determinar la Diversidad Simpson.....	28
<b>Ecuación 5-3:</b>	Ecuación para determinar la Diversidad Shannon-Wiener.....	28
<b>Ecuación 6-3:</b>	Ecuación para determinar el volumen del suelo.....	29
<b>Ecuación 7-3:</b>	Ecuación para determinar la Densidad Aparente.....	29
<b>Ecuación 8-3:</b>	Ecuación para determinar la Humedad.....	30
<b>Ecuación 9-3:</b>	Ecuación para determinar la Materia Orgánica.....	31
<b>Ecuación 10-3:</b>	Ecuación para determinar el Potasio.....	32
<b>Ecuación 11-3:</b>	Ecuación para determinar el Fósforo.....	33
<b>Ecuación 12-3:</b>	Ecuación para normalizar ( $V_n=1$ ).....	33
<b>Ecuación 13-3:</b>	Ecuación para normalizar ( $V_n=0$ ).....	33

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** VISITA AL PARQUE BOTÁNICO DEL CANTÓN SUCÚA

**ANEXO B:** MATERIALES PARA EL MUESTREO DE SUELOS

**ANEXO C:** TOMA DE LA MUESTRA DE SUELOS

**ANEXO D:** RECOLECCIÓN DE LA MACROFAUNA EDÁFICA

**ANEXO E:** SECADO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

**ANEXO F:** ANÁLISIS DEL SUELO EN EL LABORATORIO

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad del suelo del Parque Botánico del cantón Sucúa, mediante el análisis de indicadores físicos, químicos y biológicos en los suelos forestales del Parque Botánico además de la aplicación del Índice de Calidad del Suelo y los Índices de Diversidad. La investigación fue de campo con un enfoque mixto, la metodología empleada partió de un muestreo aleatorio simple en el área de estudio en el que se tomó 30 muestras de suelo y se usó un GPS para ubicar los puntos de muestreo en la extensión del Parque Botánico. La recolección de la muestra se realizó a 20cm de profundidad, posteriormente las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo donde se analizaron parámetros físico-químicos como densidad aparente, humedad, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y para la evaluación biológica se identificó la macrofauna edáfica del lugar. Como resultados se determinó el Índice de Calidad del Suelo mismo que presentó una Clase 2 que corresponde una Alta Calidad lo que es evidenciado por el alto contenido de materia orgánica, buen drenaje del agua y un pH óptimo para el crecimiento y desarrollo de las plantas. El análisis biológico reconoció que la familia Haplotaxida conformada por las lombrices fue de mayor dominancia en relación con el resto de organismos (Detritívoros/No Detritívoros) lo que también indicó una Alta Calidad en los suelos del Parque Botánico. Para mantener una buena calidad en los suelos del lugar, se recomienda estudiar el suelo considerando los parámetros ya analizados y realizando comparaciones para identificar si existen variaciones significativas que perturben la calidad del suelo para poder contrarrestarlos.

**Palabras clave:** <SUELO>, <FORESTAL >, <INDICADOR FÍSICO >, <INDICADOR QUÍMICO >, < INDICADOR BIOLÓGICO>, <ÍNDICE DE CALIDAD DEL SUELO >, <ÍNDICE DE DIVERSIDAD>.

0076-DBRA-UPT-2023



## **ABSTRACT**

The main objective of the current research was to determine the soil quality of the Botanical Park located in Sucúa County, doing an analysis of physical, chemical and biological indicators in the forest soils of the Botanical Park, besides the application of the Soil Quality Index, and the Diversity Indexes. It applied field research with a mixed approach with a methodology based on a simple random sampling in the study area where 30 soil samples were taken, and then a GPS was used to locate the sampling points in the extension of the Botanical Park. The samples were taken to the Science Laboratory of the “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” where physicochemical parameters such as bulk density, humidity, pH, electrical conductivity, organic matter were analyzed and for the biological evaluation the edaphic macrofauna of the site was identified. As a result, it determined the Soil Quality Index which showed a Class 2 corresponding to High Quality, being evidenced by the high content of organic matter, good water drainage and an optimum pH for plant growth and development. The biological analysis recognized that the Haplotaxida family formed by earthworms was a greater dominance in relation to the rest of organisms (Detritivores/Non Detritivores) which also indicated a high quality in the soils of the Botanical Park with the purpose to maintain a good quality in the soils of the site. Finally, it recommends studying the soil considering the parameters already analyzed and making comparisons to identify if exist significant variations that disturb the soil quality and to be counteracted.

**Keywords:** <SOIL>, <FORESTRY>, <PHYSICAL INDICATOR>, <CHEMICAL INDICATOR>, <BIOLOGICAL INDICATOR>, <SOIL QUALITY INDEX>, <DIVERSITY INDEX>.



**By: Mauricio Martínez P.**

**0602902504**

## INTRODUCCIÓN

Los suelos forestales son indispensables y considerados como soporte para las plantas y otros organismos por ello su calidad es importante para regular el clima, prevenir la contaminación del agua y aire amortiguando posibles contaminantes y proteger las cuencas hidrográficas normalizando la infiltración y la distribución de las precipitaciones (Gómez y Hoyos, 2020, p. 10), (Montaño et al., 2018, pp. 1-3). Cantú et al., (2007, pp. 173-174) expresa que realizar la evaluación de la calidad del suelo mediante indicadores físico, químicos y biológicos son importantes para determinar las alteraciones naturales y antrópicas que alteran los parámetros del suelo.

A nivel mundial según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2016, p. 17) el 33% de la tierra se encuentra degradada a causa de la erosión, salinización y compactación del suelo que debido al crecimiento poblacional las demandas de agua y alimentos incrementan provocando mayores intervenciones sobre el suelo cuya situación se encuentra en una condición aceptable (Pla, 2006, p. 1). En el Ecuador, se ha presentado un índice de pérdidas de suelo de entre 30 y 50 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> siendo la principal causa el cambio climático, la deforestación con un promedio de 3000 Km<sup>2</sup>/ año y proyectos mineros (Vargas et al., 2016, p. 62), (Halberstadt, 2018, párr. 1-4); dichas actividades antropogénicas se encuentran controladas por la Ley Forestal de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre del Ecuador y entre otras normativas en las que incluyen mecanismos de sanción como el artículo 79 de la Ley Forestal (Villacrés et al., 1996, p. 24).

La provincia de Morona Santiago en especial el cantón Sucúa contiene suelos de orden Inceptisol procedentes de cenizas volcánicas que presenta restricciones para uso agrícola y pecuario (Vargas et al., 2016, p. 62). Adicionalmente, a este contexto hay que añadirle que de entre todas las provincias del oriente ecuatoriano, Morona Santiago se ha caracterizado por limitar al máximo dentro de su territorio la explotación de petróleo; manteniendo así protegidas las áreas forestales del sector.

El Parque Botánico es una reserva ecológica ubicada en la comunidad El Kiim al Sur-Este del cantón Sucúa, tiene un área de 28,06 ha y contiene una alta diversidad lo que permite la conservación equilibrada del ambiente el cual se mantiene por acción de factores como el clima, vegetación, composición y calidad de suelos y relieves (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Sucúa, 2021, pp. 30-32), (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Sucúa, 2014, p. 58). Desde el punto de vista de López (2002, pp. 8-11) las actividades como el turismo, la destrucción y modificación del área forestal alteran las características del suelo conllevando a pérdidas irreversibles para la conservación.

Con base a esto último se propuso el presente análisis que posibilita establecer la calidad del suelo

por medio de indicadores físicos, químicos y biológicos del parque botánico, con el fin de recomendar alternativas idóneas para un desempeño sostenible del suelo y verificar si el área tiene calidad para seguir nutriendo y regulando el área forestal.

El alcance del proyecto es colaborar con la investigación científica e información relevante sobre el estado en el que se encuentra el suelo del Parque Botánico para que mediante los resultados obtenidos las autoridades encargadas tengan un punto de partida para actuar en el manejo, conservación y remediación de ser el caso.

Siendo una investigación estructurada, el capítulo I se describe el marco teórico que detalla los conceptos necesarios para entender la importancia de la calidad de los suelos, el capítulo II describe la metodología para identificar los distintos parámetros y finalmente en el capítulo III se presentan los resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones generadas en el desarrollo de la investigación.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Desde que el Gobierno Autónomo del Cantón Sucúa declaró al Parque Botánico como área protegida, las autoridades competentes han creado ordenanzas que permiten la conservación y preservación del mismo. El cantón Sucúa al ser una ciudad turística ha causado que esta actividad incida de manera directa en las características del suelo del Parque Botánico; sumado a esto el cambio climático y la sobrepoblación son otros de los factores que amenazan con la preservación del lugar.

Es de vital importancia conocer en qué estado se encuentra el suelo del Parque Botánico debido que, al no contar con estudios previos resulta relevante evaluar de manera física, química y biológica los suelos del lugar para determinar en qué estado se encuentran los indicadores importantes, para ello se tomarán muestras de suelo y se llevarán al laboratorio para su respectivo análisis.

#### **1.2. Limitaciones y delimitaciones**

En el presente trabajo de investigación la falta de presupuesto y cooperación del gobierno cantonal ocasiona que se realicen únicamente los análisis posibles de efectuarse en el laboratorio de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, para ello se consideraron los indicadores más importantes que influyan en la calidad del suelo. Además, la falta de estudios de los suelos del Parque Botánico presentó también una significativa limitante al no tener valores de referencia.

Las 28,06 ha que conforman la reserva del Parque Botánico fueron analizadas en 30 puntos representativos que estuvieron distribuidos de manera aleatoria en el área geográfica a fin de evitar variabilidad en los resultados de cada indicador. De la misma forma, los muestreos y análisis se efectuaron en el mes de junio del presente año 2022 considerando las favorables condiciones climáticas para el muestreo y conservación de la muestra.

#### **1.3. Problema general de investigación**

¿En qué condición se encuentra la calidad del suelo del área forestal del Parque Botánico al

evaluar sus características?

#### **1.4. Problemas específicos de investigación**

¿Cómo establecer el estado en el que se encuentra el suelo del Parque Botánico relacionando los indicadores físicos y químicos?

¿Cómo se relaciona la macrofauna edáfica con la calidad del suelo y en qué medida se encuentran distribuidos?

#### **1.5. Objetivos**

##### ***1.5.1. Objetivo General***

Determinar la calidad del suelo en el área forestal del parque Botánico del cantón Sucúa provincia de Morona Santiago mediante indicadores físico, químicos y biológicos.

##### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- Determinar el índice de calidad del suelo mediante los parámetros físico-químicos de los suelos del parque botánico.
- Caracterizar la macrofauna edáfica de los suelos forestales del parque botánico.
- Evaluar la calidad del suelo en el parque botánico a través de indicadores biológicos.
- Determinar índices de diversidad además de su relación con la calidad biológica del suelo.

#### **1.6. Justificación**

##### ***1.6.1. Justificación teórica***

Sucúa es un cantón considerado como una ciudad turística, sin embargo, el turismo ha sido sin duda una de las actividades que causan impactos ambientales negativos principalmente en el suelo, es por ello que esta investigación se realiza con el propósito de conocer el estado de la calidad del suelo del Parque Botánico mediante la utilización del Índice de Calidad de Suelos (ICS) y la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo; esta metodología tiene gran aceptación ya que corresponde a una evaluación similar al de calidad del agua por macroinvertebrados. Por lo anterior mencionado, se impulsa la ejecución de la investigación ya que, al finalizar los respectivos estudios y análisis, los resultados podrán

servir como punto de partida para proyectos de conservación del ecosistema del lugar cuyas acciones mejorarán la calidad de vida de la población debido a buenas regulaciones y equilibrio del clima por acción del área forestal.

### **1.7. Hipótesis**

El suelo del Parque Botánico del cantón Sucúa mantiene una buena calidad para seguir nutriendo y regulando las especies forestales.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

En el Artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador se establece el derecho a vivir en un ambiente saludable y equilibrado ecológicamente basado en conservar los ecosistemas, su biodiversidad y prevenir efectos ambientales y recuperación de los mismos en caso de presentar degradación o indicios de ello (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 14 ).

En la última década se ha dado un impulso muy notable de literatura relacionada a calidad de suelos, sus formas de medición, evaluación y relación con la agricultura (García et al., 2012, pp. 125-127); sumado a este contexto hay que añadir la importancia de la conservación del suelo de áreas naturales considerándolo como elemento clave e imprescindible para la sostenibilidad de los ecosistemas gracias a su mediación en los ciclos biogeoquímicos que suministran el agua y los nutrientes necesarios para las plantas (FAO, 2015, pp. 27-31).

El GAD municipal del cantón Sucúa a través de su reporte general de las componentes ha realizado estudios de la flora y fauna existente en el Parque Botánico, siendo esto de mayor interés para atracción turística (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Sucúa, 2014, pp. 58-59). Cuadrado (2013, pp. 5-7) sostiene que las actividades turísticas generan grandes impactos en la cual, el recorrido por senderos produce mayor impacto en el suelo produciendo indicios de erosión, caminos alternativos, aparecimiento de raíces, perturbación de fauna y daño en la vegetación.

Con base a esto último, el Parque Botánico del cantón Sucúa requiere de un estudio de calidad del suelo a fin de conocer la situación en la que se encuentra para ejecutar las medidas de protección y conservación del lugar para así mantener las actividades de turismo a más de obtener un ecosistema sustentable.

El estudio del suelo contempla una investigación de campo en la que se recolectarán y analizarán los suelos del lugar.

## **2.2. Bases conceptuales**

### **2.2.1. Suelos forestales**

El suelo es un componente importante de los bosques y los ecosistemas forestales porque ayuda a regular procesos importantes del ecosistema, como la absorción, descomposición y disponibilidad de agua de nutrientes. Los suelos proporcionan anclaje, agua y nutrientes a los Árboles; a su vez, toda la vegetación constituye un factor importante en la creación de nuevos suelos cuando las hojas y la vegetación se deteriora y se pudre (Pennock, Mckenzie y Montanarella, 2016, p. 11).

### **2.2.2. Calidad del suelo**

Se define como una apreciación de su capacidad para mantener las funciones en buen rendimiento de acuerdo al uso asignado (García, Ramírez y Sánchez, 2012, p.129).

De acuerdo con Doran y Parkin (1994, citado en Porta, 2008a, p.365) manifiestan que la calidad del suelo es la capacidad de funcionar y sostener los sistemas biológicos y la calidad ambiental para así promover el correcto desarrollo de las plantas y animales.

### **2.2.3. Funciones del suelo**

El suelo al formar parte del ecosistema cumple funciones que ayudan en la sostenibilidad del medio, entre las más importantes se encuentra la producción de alimentos y biomasa, lugar destinado para que se produzcan los ciclos biogeoquímicos, almacenamiento y fijación del carbono, almacenamiento y filtración de agua y reserva de biodiversidad (Burbano, 2016, p.119). Según Jamioy (2011, p.22) las funciones del suelo en relación a los bosques y cultivos es brindar los nutrientes suficientes para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

### **2.2.4. Clasificación del suelo**

Según Sotelo et al. (2008, pp. 325-326) la FAO planteó una categorización universal, llamada Categorización Mundial de Suelos, la primera ocasión que se hizo una categorización de suelos ha sido en 1974 en el conocido como “Mapa de todo el mundo de Suelos de Unesco”. A continuación, en la tabla 1 se mostrará la clasificación de los suelos según: Categorías, nombre, acrónimo y sus detalles generales.

**Tabla 1-2:** Clasificación principal de los suelos

<b>Categoría</b>	<b>Nombre</b>	<b>Acrónimo</b>	<b>Descripción general</b>
Suelos con capas orgánicas gruesas	Histosol	HS	Con capas orgánicas gruesas
Suelos con fuerte influencia humana	Anthrosol	AT	Largo e intensivo uso agrícola, alterado para aumentar la fertilidad
	Technosol	TC	Cantidades significativas de artefactos
Suelos con enraizamiento limitado	Cryosol	CR	Afectados por permafrost.
	Leptosol	LP	Son delgados o con muchos fragmentos gruesos.
	Solonetz	SN	Están enriquecidos en arcillas en la parte subsuperficial y con alto contenido de Na intercambiable.
	Vertisol	VR	Arcilla de expansión-retracción, condiciones alternas de sequía-humedad.
	Solonchak	SC	Posee alta concentración de sales solubles.
Suelos regulados por la química de Fe/Al	Gleysol	GL	Están afectados por agua freática, subacuáticos y de áreas de mareas.
	Andosol	AN	Posee humus.
	Podzol	PZ	Tiene acumulación de óxidos y/o humus en el suelo subsuperficial.
	Plinthosol	PT	Presenta acumulación y redistribución de Fe.
	Nitosol	NT	Tienen arcillas de baja actividad, fijación de P, muchos óxidos de Fe, estructura fuerte.
Acumulación de Sales moderadamente solubles o de sustancias no salinas	Ferralsol	FR	Tienen dominancia de caolinita y óxidos.
	Planosol	PL	Presentan agua estancada, diferencia textural abrupta.
	Stagnosol	ST	Tienen agua estancada, diferencia textural ausente o moderada.
Suelos enriquecidos en arcillas en la parte subsuperficial	Durisol	DU	Acumulación de, y cementación por, sílice secundaria.
	Gypsisol	GY	Acumulación de yeso secundario.
	Calcisol	CL	Acumulación de carbonatos secundarios.
	Retisol	RT	Inter digitaciones de material gruesamente texturado de color claro dentro de una capa de textura más fina de color más fuerte.
	Acrisol	AC	Son arcillas de baja actividad, baja saturación de bases.
	Lixisol	LX	Son arcillas de baja actividad, alta saturación de bases.
	Alisol	AL	Son arcillas de alta actividad, baja saturación de bases.
	Luvisol		Arcillas de alta actividad, alta saturación de bases.

Suelos con poca o ninguna diferenciación del perfil	Cambisol Arenosol Fluvisol Regosol	CM AR FL RG	Son moderadamente desarrollados. Son muy arenosos. Sedimentos estratificados fluviales, marinos o lacustres. Ningún desarrollo significativo del perfil.
--	---	----------------------	--

**Fuente:** (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2015, pp.152-194)

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

### 2.2.5. *Muestreo de suelos*

Para ejecutar un muestreo de suelos se debe establecer un plan que cuente con información y programación relacionada con los objetivos del muestreo.

La información que debe llevar el plan de muestreo es la siguiente:

- El área en la que se concentrarán los esfuerzos de muestreo
- Objetivos del plan de muestreo
- Los tipos de muestreo según los objetivos definidos
- La determinación de la densidad y la posición de los puntos muestreo
- Procedimientos de campo
- Métodos de conservación de muestras
- Análisis (Vidal et al., 2014, pp. 9-10).

## 2.3. Bases teóricas

### 2.3.1. *Recurso suelo*

Se reconoce como un componente indispensable constituido principalmente por minerales, aire, agua, materia orgánica y organismos biológicos los cuales juegan un papel importante para la conservación (MINAMBIENTE 2016, citado en FAO, 2018, p.5).

Porta (2008a, p.20) considera que “el suelo constituye una interfase que permite intercambios entre la litosfera, la biosfera y la atmósfera” por lo que se reconoce como base del ecosistema que permite la vida.

### 2.3.2. *Importancia del suelo*

Respecto a las funciones ambientales, su importancia es relevante ya que el suelo proporciona el almacenamiento de nutrientes, sirve de hábitat de organismos, procesa materia orgánica a través de restos de animales y vegetales, entre otros (Silva y Correa, 2009, citado en Choca, 2017, p.8)

Una buena gestión del suelo resulta importante tanto para la agricultura sostenible como para la regulación del clima y biodiversidad. De la misma forma el suelo resulta esencial para el funcionamiento del ciclo hidrológico, biogeoquímico y de los nutrientes. Además, los suelos componen un gran reserva de biodiversidad compuesta primordialmente por microorganismos, flora y fauna (MINAMBIENTE, 2016, pp.29-30).

### 2.3.3. *Índice de calidad del suelo*

El índice es obtenido a partir de una caracterización de muestras de suelo evaluado en el que se obtienen valores. Debido a que los parámetros del suelo tienen distintas unidades de medición, los valores deben ser modificados por métodos donde el conocimiento del suelo por parte del evaluador se vuelve importante ya que debe plantear y conocer los límites de cada una de las propiedades evaluadas y usar métodos de estandarización (Gómez y Hoyos, 2020, p. 20). Para la estandarización de los indicadores existen dos situaciones: la primera es cuando el valor máximo del indicador corresponde a la mejor situación de calidad de suelo ( $V_n=1$ ) y la otra es cuando el valor máximo corresponde a la peor situación de la calidad del suelo ( $V_n=0$ ) (Calderón et al., 2018, p. 146), (Cantú et al., 2007, p. 176).

**Tabla 2-2:** Clase de calidad de suelos

Índice de calidad de suelos	Escala	Clases
<b>Muy alta calidad</b>	0,80 - 1,00	1
<b>Alta calidad</b>	0,60 - 0,79	2
<b>Moderada calidad</b>	0,40 - 0,59	3
<b>Baja calidad</b>	0,20 - 0,39	4
<b>Muy baja calidad</b>	0,00 - 0,19	5

Fuente: (Cantú et al., 2007, p. 176)

Elaborado por: Riera, Erik, 2022.

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

Se trata de un conjunto de herramientas que permiten medir las propiedades, procesos y características del suelo cuya finalidad es dar seguimiento a los efectos que se han producido durante una actividad (Astier et al., 2002, pp. 609-610).

Los indicadores de calidad del suelo están compuestos por propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales se usan comúnmente para determinar los sitios que contienen problemas en su composición (Jamioy, 2011, p.23).

De acuerdo con Hunnemeyer et al. (1997, p.24-25) para que una característica del suelo sea

considerada como indicador debe ser sensible a cambios, al analizar no debe ser difícil ni presentar elevados costes, las mediciones deben repetirse periódicamente y deben analizarse relacionándose con otros indicadores.

### **2.3.5. Indicadores físicos**

Las características físicas utilizadas como indicadores están dadas por aquellas que representan la manera en cómo el suelo es capaz de aceptar, retener y transmitir agua a las plantas, a más de las limitaciones que pueden presentarse en cuanto al crecimiento de las raíces, infiltración, movimiento del agua, entre otras (Bautista et al., 2004, p.92).

Según García et al., (2012, p. 131) los parámetros físicos más usados para evaluar la calidad del suelo son la densidad aparente, la estructura, infiltración, color y textura.

#### **2.3.5.1. Densidad Aparente**

La densidad aparente (Dap) del suelo es el valor de su masa por unidad de volumen, su importancia radica en que permite determinar la calidad del suelo para el normal desarrollo de las raíces de las plantas porque define el valor del sólido en el espacio poroso, la unidad en la que suele representar es en  $g / cm^3$  (Rojas, 2012, p. 2).

De acuerdo con Vargas et al., (2020, p. 19) la Dap representa un factor importante en la evaluación hídrica y la composición de nutrientes, es por ello que este parámetro es un buen indicador de características importantes del suelo en el cual los valores bajos de Dap implican suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje (Flores y Alcalá, 2010, p. 38).

#### **2.3.5.2. Textura**

La textura del suelo describe a la cantidad de tipos de tamaño de partículas que se encuentra en un determinado volumen y corresponde a una de las propiedades importantes del suelo debido a que a inciden en la retención de agua, aireación y drenaje (Porta, 2008b, pp. 51-52), (Martínez, 2015, p. 13).

Para Ríos et al., (2010, p.229) la textura externaliza el porcentaje de partículas de limo, arena y arcilla en una muestra de suelo, que se caracterizan por diferentes tamaños, es importante considerar este indicador para saber cuánta agua y aire retiene más que la velocidad a la que entra el agua y pasa por el suelo.

**Tabla 3-2:** Sistemas de clasificación de fracciones del suelo de acuerdo con la USDA

Fracción	Diámetro (mm)
Arena muy gruesa	De 2,0 a 1,0
Arena gruesa	1,0 a 0,5
Arena media	0,5 a 0,25
Arena fina	0,25 a 0,1
Arena muy fina	0,1 a 0,05
Limo	0,05 a 0,002
Arcilla	Menos de 0,002

Fuente: (Navarro y Navarro, 2013 citado en Martínez, 2015, pp. 13-14)

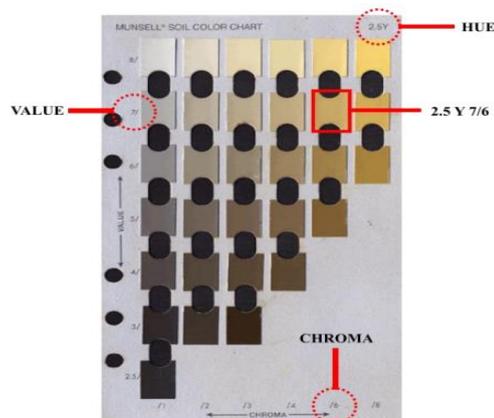
Realizado por: Riera, Erik, 2022.

### 2.3.5.3. Color

Es la característica que tiene un suelo y debido a su fácil observación, se puede identificar el tipo de suelo al que representa teniendo en cuenta que algunas sustancias que confieren el color del suelo son: el humus y algunos compuestos minerales (Rucks et al., 2004, p. 54).

Se puede evaluar el suelo por el sistema de especificación Munsell, en el que se utilizan elementos cromáticos de tono (H), intensidad (I) y saturación (S) de los cuales el tono representa el color primario (verde, amarillo, rojo, púrpura y azul), la intensidad define la claridad de los horizontes cuyo rango es de 0 – 10; y la saturación define el grado de pureza (Porta, 2008b, pp. 45-57)

A continuación, en la figura 2, se podrá visualizar el sistema Munsell para identificar el color del suelo.



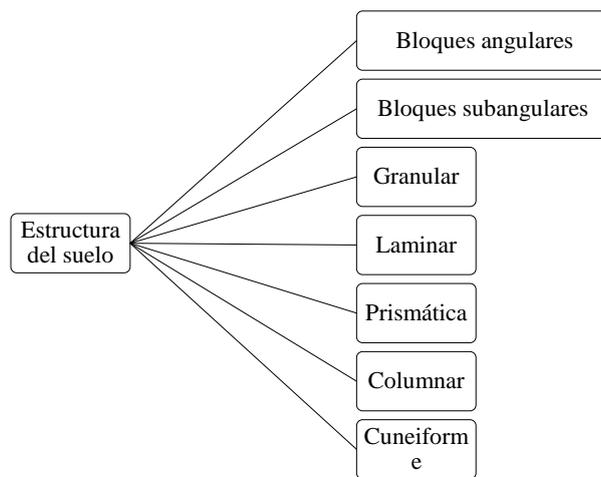
**Ilustración 1-2.** Sistema Munsell para identificar el color del suelo

Fuente: Vargas et al., 2020, p. 15

#### 2.3.5.4. Estructura

Para Ríos et al., (2010, p. 226) y Vargas et al., (2020, p. 15) la estructura es el resultado de procesos edafogénicos y la estabilidad estructural de los agregados del Suelo; se refiere a su capacidad para retener su forma cuando son sometidos a fuerzas inducidas artificialmente, especialmente las derivadas del mojado, impacto por goteo de lluvia, paso de agua o de cierto proceso de dispersión, es decir, representa resistencia a cualquier modificación de los áridos.

En seguida, en la figura 2-1, se podrá visualizar la estructura de los agregados del suelo.



**Ilustración 2-2.** Estructura del suelo.

Fuente: Porta, 2008b, p. 52

#### 2.3.6. Indicadores Químicos

Este tipo de indicadores hacen referencia aquellas condiciones que afectan directamente las relaciones del suelo con las plantas en la que destaca la calidad del agua, su capacidad amortiguadora, disponibilidad de agua y disponibilidad de nutrimentos (Materia Orgánica del suelo, pH, conductividad eléctrica, nitrógenos) (García et al., 2012, p. 131).

##### 2.3.6.1. Materia Orgánica del suelo

La materia orgánica en el suelo está compuesta por residuos de los mismos animales, microorganismos y plantas por lo que se estima que es el almacén de carbono orgánico más importante del planeta. La cantidad de materia orgánica depende de varios factores tales como el clima, la textura del suelo, el drenaje y su laboreo. Se estima que los suelos con mayor contenido de materia orgánica corresponden a los suelos de bosques y praderas vírgenes (Porta, 2008a, p. 67).

### 2.3.6.2. Potencial Hidrógeno (pH)

El pH es un parámetro de evaluación capaz de medir el grado de acidez o alcalinidad que contiene una muestra de suelo en rango que va de 0 a 14 por lo cual, cuando el valor corresponde a 7 se dice que es neutro, cuando el valor es mayor a 7 se considera alcalino y, si el valor es menor a 7 el suelo es ácido (Espinosa, 2008, pp. 1-3).

Los valores que describen al pH de un suelo se encuentran en escala de muy ácido (pH= 3,5) a muy alcalino (pH= 9,5). Cuando los suelos son altamente ácidos (pH < 5,5) se puede asumir que contienen elementos tóxicos como aluminio y manganeso (Porta, 2008b, pp. 251-252).

La USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) evalúa el pH del suelo de acuerdo al valor obtenido, mismo que se presenta a continuación:

**Tabla 4-2:** Escala y Evaluación del pH

<b>pH</b>	<b>Evaluación</b>
< 4,5	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Medianamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Medianamente básico
7,9 – 8,4	Básico
5,8 – 9,0	Ligeramente alcalino
9,1 – 10,0	Alcalino
>10,0	Fuertemente alcalino

**Fuente:** (USDA, 1971 citado en Porta, 2008b, p. 252)

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

### 2.3.6.3. Carbono orgánico en el suelo (COS)

El carbono orgánico del suelo (COS) resulta importante debido a que se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas y se encuentra fuertemente relacionado con el contenido de nutrientes del suelo formando parte del ciclo del carbono; su equilibrio se debe a la medida entre cuánto carbono entra y cuánto sale. El COS es el componente principal de la materia orgánica además, un importante indicador de la salud del suelo (Martínez et al., 2008, pp. 68-71).

Algunas de las situaciones que influyen en el contenido del COS están dadas por la situación climática, material parental, uso del suelo y la cobertura vegetal; cabe destacar que el pH también influye en cuanto a la cantidad y calidad de CO (Barrezueta et al. 2019, p. 32).

#### 2.3.6.4. Conductividad Eléctrica

Se refiere a la medida de la capacidad de un material para conducir corriente eléctrica en el que el valor más alto se obtendrá cuando con más facilidad se mueva la corriente a través del mismo; en otras palabras, la conductividad eléctrica mide la concentración de las sales solubles presentes en el sustrato (Bárbaro et al., 2005, p. 7).

Generalmente la CE se expresa en unidades de mmhos/cm, mSiemenes/m y dS/m en lo que se evidencia que los valores entre 0 y 0,8 dS/m son muy aceptables para el buen crecimiento de los cultivos (Luters y Salazar, 1999, p. 29).

De acuerdo con el valor determinado en los suelos en la siguiente tabla se establece la clase de suelo al que corresponde.

**Tabla 5-2:** Escala y Evaluación de la Conductividad Eléctrica

<b>Clase de suelo salino</b>	<b>Conductividad del extracto (dS/m)</b>
<b>No salino</b>	0 – 0,98
<b>Ligeramente salino</b>	0,98 – 1,71
<b>Moderadamente salino</b>	1,71 – 3,16
<b>Fuertemente salino</b>	3,16 – 6,07
<b>Muy fuertemente salino</b>	> 6,07

Fuente: Gallart, 2017, p. 4

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

#### 2.3.6.5. Nitrógeno

El Nitrógeno constituye un muy importante macronutriente ya que es fundamental en la materia vegetal por el hecho de que contiene proteínas, ácidos nucleicos y clorofilas. La forma en que las plantas absorben este nutriente es por medio de las raíces y en forma de  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$ , además, de acuerdo con la disponibilidad del nitrógeno al encontrarse en bajas concentraciones en la mayoría de suelos limita la producción de cosechas (Freire, 2012, pp. 14-15).

En la monografía redactada por Carbonero (2018, pp. 62-65) se manifiesta que la deficiencia de nitrógeno en plantas afecta directamente a la ramificación produciendo que las hojas

contengan un color amarillento con un bajo contenido de clorofila por lo que su crecimiento y rendimiento serán bajos. Por otro lado, el exceso producirá un exagerado crecimiento con una coloración verde intensa por lo que serán más propensas a plagas, enfermedades, etc.

#### 2.3.6.6. Fósforo

El Fósforo en el suelo proviene como fuente natural de la roca madre y es uno de los primeros elementos que limita el desarrollo de las plantas por lo que su deficiencia hace que las hojas de las plantas adquieran colores rojizos o púrpuras y lleguen a secarse; el exceso de este elemento produce una maduración precoz de los cultivos (Carbonero, 2018, pp. 95-97).

Al ser un nutriente esencial en el suelo para el crecimiento de las plantas, las funciones del fósforo no pueden ser ejecutadas por otro nutriente (Munera & Meza, 2012, pp. 11-15). Además, el P se encuentra en el suelo en diferentes formas, siendo común estudiar el Fósforo disponible cuyos valores óptimos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 6-2:** Escala de Interpretación del Fósforo disponible en el suelo

Fósforo disponible (ppm)	Categoría
<15	Pobre
15-30	Medio
>30	Rico

**Fuente:** Besteiro & Descalzo, 2021, p. 288

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

#### 2.3.6.7. Potasio

De acuerdo con Lalatta (1989, citado en Freire, 2012, pp. 16-17) el potasio es esencial para las plantas ya que interviene en la activación de más de 60 enzimas importantes en los procesos metabólicos como la fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos; en otras palabras el potasio actúa en el crecimiento vegetativo, fructificación, maduración y calidad de frutos.

La deficiencia de potasio hace que las puntas de las hojas de las plantas se pongan amarillas y posteriormente se sequen; de la misma forma el exceso del elemento no se considera importante (Freire, 2012, pp. 16-17).

**Tabla 7-2:** Escala de Evaluación del Potasio

Potasio Asimilable (meq/100g)	Categoría
<0,2	Bajo
0,2 - 0,5	Medio
>0,5	Alto

Fuente: Molina, 1978, p. 5

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

### **2.3.7. Indicadores Biológicos**

El análisis de los indicadores biológicos permite identificar en qué situación se encuentra la condición edáfica en un determinado sitio de interés por medio de elementos vivos en los que se incluyen los micro y macroorganismos, bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos (Bracamontes et al., 2018, pp. 13-14), (Bautista et al., 2004, p. 95).

#### **2.3.7.1. Biodiversidad**

La biodiversidad se define como la variabilidad entre organismos vivos de todos los orígenes, incluidos, entre otros, los organismos terrestres, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre especies y de ecosistemas (Burbano, 2016, p. 120).

#### **2.3.7.2. Macrofauna edáfica**

La macrofauna del suelo está formada por invertebrados visibles al ojo humano con un tamaño superior a 2mm que están involucrados en los ciclos de descomposición de materia orgánica e inorgánica, acelerando el reciclaje de nutrientes y, en particular, en la mineralización de la materia orgánica (Jiménez et al., 2003, pp. 1-2).

Según Zerbino et al., (2008, p. 45) los organismos que conforma la macrofauna resultan importantes ya que son capaces de evaluar los cambios que se producen en el suelo y se encuentran divididos en distintos grupos funcionales.

#### **2.3.7.3. Detritívoros**

Componen el grupo de organismos que viven en la hojarasca y son aquellos que intervienen en la descomposición de la materia orgánica. Generalmente los organismos detritívoros viven en la superficie y en el interior del suelo por lo cual, aquellos organismos que se encuentran

en la superficie son los encargados de triturar los elementos que componen la hojarasca (restos vegetales y animales) realizando una importante labor para que haya una gran disponibilidad de alimento para los organismos más pequeños como los hongos y bacterias (Cabrera, 2014, p. 7).

#### 2.3.7.4. *Herbívoros y depredadores*

Son aquellos que viven en el interior y en la superficie del suelo, donde los organismos herbívoros se alimentan de algunas partes vivas de las plantas para controlar el material vegetal que ingresa al suelo; de la misma forma los depredadores se alimentan de invertebrados lo cual modifica el equilibrio de las poblaciones y el balance (Jiménez et al., 2003, pp. 1-3).

#### 2.3.7.5. *Ingenieros del suelo*

Son los organismos que se encuentran en el interior del suelo y son ellos quienes se encargan de la formación de poros, oxigenación e infiltración de agua esto a consecuencia de las galerías que construyen en el suelo. Además, intervienen en la descomposición de la materia orgánica (Cabrera, 2014, p. 7).

En la siguiente tabla se pueden apreciar los grupos de macrofauna edáfica que se encuentran con mayor frecuencia.

**Tabla 8-2:** Grupos que componen la macrofauna del suelo

<b>Nombre común</b>	<b>Grupo funcional</b>
Lombrices de tierra	Detritívoros e ingenieros del suelo
Babosas y caracoles	Detritívoros y depredadores
Cochinillas	Detritívoros
Milpiés	Detritívoros
Ciempíes	Depredadores
Arañas	Depredadores
Arañas patonas	Depredadores
Falsos escorpiones	Depredadores
Cucarachas	Detritívoros, herbívoros, omnívoros
Escarabajos	Detritívoros, herbívoros, depredadores
Tijeretas	Detritívoros, depredadores
Moscas y mosquitos	Detritívoros, depredadores
Chinches y salta hojas	Herbívoros
Hormigas	Omnívoros, depredadores, ingenieros del suelo
Termitas o comejenes	Detritívoros, ingenieros del suelo

Mariposas y orugas	Herbívoros
Grillos y saltamontes	Herbívoros

**Fuente:** Cabrera et al., 2017, pp. 256-258

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

#### 2.3.7.6. *Evaluación biológica de la calidad del suelo*

De acuerdo con Cabrera (2014, citado en Vivas, 2015, p. 24) para el diagnóstico y la evaluación de la calidad del suelo respecto a los parámetros biológicos muestreados y caracterizados se manejan dos categorías de mayor contraste que se presentan a continuación.

- Alta calidad del suelo: Corresponde a suelos en los que se tiene mayor diversidad, es decir, mayor cantidad de organismos e individuos en especial que predominen los organismos detritívoros y lombrices.
- Baja calidad del suelo: Se caracteriza por tener menor diversidad (organismos e individuos) como tal, predominan organismos no detritívoros y hormigas.

Si al aplicar las ecuaciones 1-3 y 2-3 el resultado da un número  $> 1$  indica que en el lugar de estudio la calidad del suelo es alta.

Por el contrario, si se obtienen valores entre 0 y 1 indica que en el lugar de estudio se encuentra con suelos de baja calidad.

#### 2.3.8. *Índices de diversidad*

La diversidad se considera como el número de especies presentes en un área la cual es medida por dos métodos: la riqueza específica basada en la cantidad de especies presentes y la estructura que mide la distribución proporcional de importancia (Aguirre, 2013, p. 35).

Los índices de diversidad se consideran como medidas de varianza en la distribución de la abundancia de especies. Los índices que más destacan de acuerdo con la medición de diversidad de especies son de Simpson y Shannon (Campo y Duval, 2014, pp. 30-31).

##### 2.3.8.1. *Índice de abundancia relativa*

Según Moreno (2015, p. 36) el medir la Abundancia Relativa permite identificar las especies que por su escasa representatividad en la comunidad son sensibles a las perturbaciones del ambiente. De la misma forma se identifican los cambios ocurridos en la diversidad, distribución y dominancia de las especies y se calcula el porcentaje mediante la relación entre

el número total de individuos de una especie y el total de individuos de todas las especies.

### 2.3.8.2. Índice de diversidad de Simpson

Mide la diversidad de una comunidad (seres vivos en un lugar determinado) y es el más utilizado en ecología; además, identifica la relación entre el número de especies y el número de individuos por especie (Campo y Duval, 2014, p. 32).

Los resultados se interpretan de acuerdo con la Tabla 9-2

**Tabla 9-2:** Escala de Interpretación del Índice de diversidad de Simpson

Valores	Significancia
0 - 0,33	Diversidad Baja
0,34 - 0,66	Diversidad Media
>0,67	Diversidad Alta

Fuente: Aguirre, 2013, p. 39

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

### 2.3.8.3. Índice de Shannon – Wiener

El índice de Shannon – Wiener refleja heterogeneidad de una comunidad y se alcanza la máxima diversidad cuando todas las especies se encuentran presentes. El rango del índice corresponde de 1,5 a 4,5 considerando, que el valor normal está entre 1,6 y 3,5 por lo cual, los valores menores a 1,5 corresponden a una baja diversidad y los valores mayores a 3,5 contienen alta diversidad (Moreno, 2015, p. 43).

**Tabla 10-2:** Escala de Interpretación del Índice de diversidad de Shannon – Wiener

Valores	Significancia
<1,5	Diversidad Baja
1,6 – 3,5	Diversidad Media
> 3,5	Diversidad Alta

Fuente: Aguirre, 2013, p. 62

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

## 2.4. Marco Legal

El impacto ambiental de los suelos se estudia en los acuerdos internacionales y regulaciones ambientales vigentes en el Ecuador adecuado para dichos proyectos. En relación con el marco

legal incluye las siguientes regulaciones

#### **2.4.1. Constitución de la República del Ecuador**

##### *2.4.1.1. Derechos del buen vivir*

De acuerdo con la sección segunda referente a un ambiente sano, se manifiesta:

*Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay (Constitución de la República del Ecuador, 2008).*

##### *2.4.1.2. Título VII: régimen del buen vivir*

Como se indica en la Constitución de la República del Ecuador (2008) en el Régimen del buen vivir capítulo segundo, sección quinta:

*Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión (Constitución de la República del Ecuador, 2008).*

#### **2.4.2. Acuerdo No. 097 Anexo 2 (Refórmese el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente).**

La presente norma técnica determina:

- Los objetivos y parámetros de calidad ambiental del suelo a ser considerados para diferentes usos de este recurso (Acuerdo Ministerial 97 Registro Oficial Edición Especial 387, 2015).
- El procedimiento para determinar los valores iniciales de referencia respecto a la calidad ambiental del suelo (Acuerdo Ministerial 97 Registro Oficial Edición Especial 387, 2015).
- Los límites permisibles de contaminantes en función del uso del suelo, en relación con un valor inicial de referencia (Acuerdo Ministerial 97 Registro Oficial Edición Especial 387, 2015).
- Los métodos y procedimientos para la determinación de los parámetros de calidad

ambiental del suelo (Acuerdo Ministerial 97 Registro Oficial Edición Especial 387, 2015).

- Los métodos y procedimientos para la Remediación de suelos contaminados (Acuerdo Ministerial 97 Registro Oficial Edición Especial 387, 2015).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque de investigación

El presente estudio llevó el diseño metodológico del enfoque mixto. Por una parte, consiste en un enfoque cuantitativo ya que se consideró el que mejor se adapta con las necesidades de la investigación debido a que utiliza la recolección y análisis de datos para establecer resultados con alta confiabilidad para así contestar preguntas y comprobar la hipótesis establecida en la investigación; además, se utilizó el método de análisis de datos obtenidos para describir el estado en el que se encuentra el suelo del Parque Botánico, teniendo en cuenta que la investigación llevó las fases desde la recolección de muestras hasta el análisis de cada una. De acuerdo con el enfoque cualitativo, se identificó las características del suelo en el Parque Botánico además de analizar la macrofauna del lugar para la determinación de la calidad por el método biológico.

#### 3.2. Nivel de investigación

La elaboración de este trabajo de integración curricular se estableció como una investigación descriptiva ya que, mediante los análisis realizados de los suelos del área de estudio, observación del área forestal y elaboraciones de mapas correspondientes a la zona de estudio se permitió analizar los parámetros del suelo y así poder determinar la calidad del suelo en el área de estudio.

#### 3.3. Tipo de estudio

La elaboración de este trabajo de integración curricular se estableció como una investigación bibliográfica, documental y de campo.

Corresponde a investigación bibliográfica debido a que se elaboró mediante la revisión de literatura en libros, guías técnicas, información del plan de desarrollo del cantón Sucúa, sitios web y con la revisión de estudios anteriores realizados sobre este tipo de investigación.

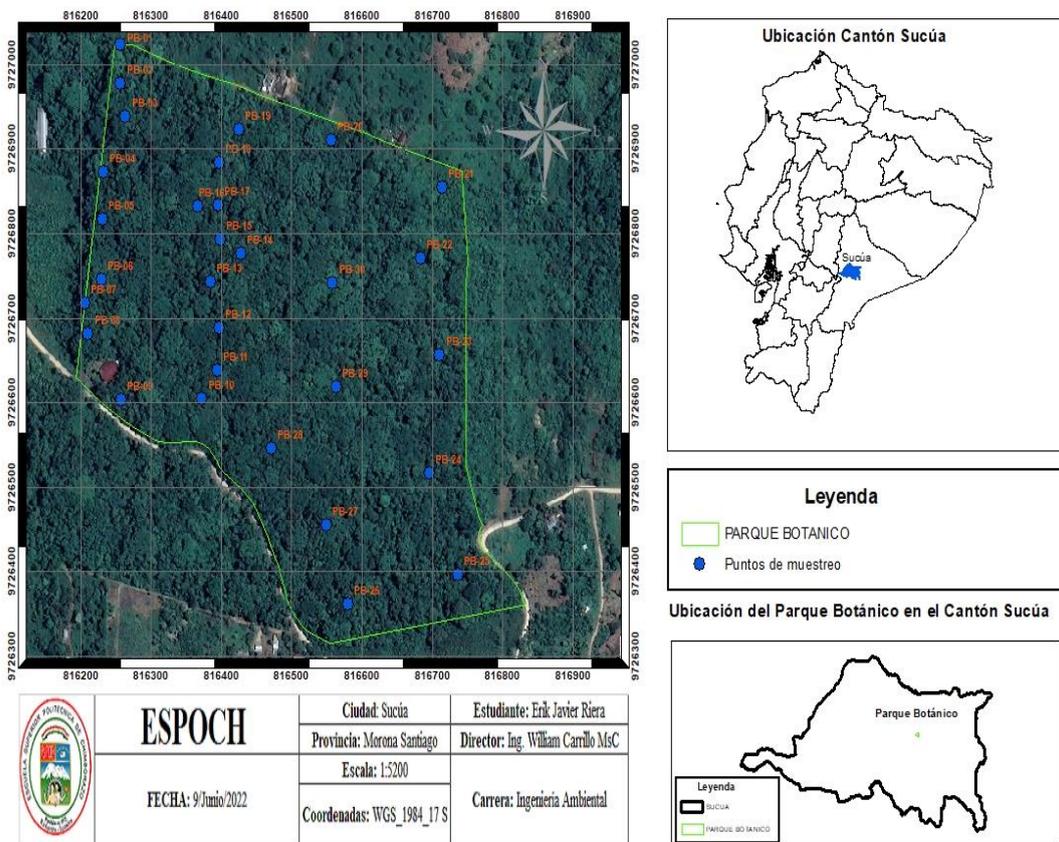
El estudio de campo se realizó por los muestreos en el área de estudio, recorridos de exploración y reconocimiento de la zona y obtención de coordenadas geográficas del Parque Botánico.

### 3.4. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

#### 3.4.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en suelos forestales del Parque Botánico perteneciente a la comunidad El Kiim del cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago. Para la delimitación del área de estudio se hizo uso del software ArcMap versión 10.5. Se graficó el mapa de ubicación del área de estudio y puntos de monitoreo.

#### Ubicación del Área de Estudio y sus Puntos de Muestreo



**Ilustración 1-3:** Mapa de ubicación del área de estudio y sus puntos de muestreo

Realizado por: Riera, Erik. 2022.

#### 3.4.2. Selección de la muestra

##### 3.4.2.1. Muestreo aleatorio simple

En el área de estudio se realizó un muestreo aleatorio simple y se utilizó una cartografía del área de estudio con un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la cual se delimitó los puntos de muestreo para los análisis correspondientes.

#### 3.4.2.2. Puntos de muestreo

Se establecieron 30 puntos representativos de muestreo en las 28,06 hectáreas que corresponde al Parque Botánico debido a que es un área protegida por lo cual está restringida la alteración de sus recursos al efectuar los muestreos.

#### 3.4.3. Tamaño de la muestra

En este trabajo de Integración Curricular se obtuvieron un total de 30 muestras simples, donde cada muestra representó alrededor de una hectárea del área de estudio. El peso establecido de extracción para el análisis fue de 2 lb por cada muestra.

### 3.5. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

#### 3.5.1. Fuentes de información

Para el presente trabajo de investigación, la principal fuente de información fue el reconocimiento del área de estudio en el que se pudo apreciar la extensión del lugar junto con las personas encargadas del Parque Botánico.

#### 3.5.2. Técnicas de recolección de datos

La investigación se realizó en 2 etapas: etapa de recolección y de análisis. Para la recolección de muestras de suelo se realizó siguiendo la guía de muestreo descrita en (Vidal et al., 2014, pp. 17-26) a fin de recolectar y conservar correctamente el suelo.

#### 3.6.3. Materiales y equipos usados para el muestreo de suelos

##### 3.6.3.1. Materiales de campo

**Tabla 1-3:** Materiales de campo usados en el muestreo de suelos

Materiales de campo	
Pala	Frascos
Barreno	Cuchillo
Balde	Flexómetro

Barretilla	Bolsas Ziplog
Machete	Bolsas Plásticas de basura

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

### 3.6.3.2. Equipos

**Tabla 2-3:** Equipos usados en el muestreo de suelos

<b>Equipos para el Muestreo</b>
GPS
Cámara Fotográfica
Contenedor de muestras

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

### 3.6.3.3. Materiales de oficina

**Tabla 3-3:** Materiales de oficina usados en el muestreo de suelos

<b>Materiales de oficina</b>
Marcadores
Etiquetas
Pinzas
Pinceles
Tijeras

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

### 3.6.3.4. Reactivos

**Tabla 4-3:** Reactivos usados para la conservación de la macrofauna

<b>Reactivos</b>
Alcohol al 70%
Formaldehído

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

## 3.6.4. Recolección de muestras de suelo

### 3.6.4.1. Procedimiento de recolección de muestras

- Se estableció una georreferenciación de las 28,06 hectáreas del Parque Botánico por medio del software ArcGIS 10.5.
- Se determinó los 30 puntos representativos de muestreo en el Parque Botánico con ayuda de un GPS marca Garmin Etrex 10.

- Se efectuaron las extracciones de las muestras de suelo a una profundidad de 20 cm con un barreno para los análisis físico-químicos.
- Cada muestra fue recolectada en una funda plástica hermética y rotulada con su respectivo código. Posteriormente se colocó en un contenedor para transportar la muestra hasta su análisis en laboratorio.
- Para el muestreo de macrofauna edáfica se cavó una calicata con una dimensión de 25 x 25 cm en las paredes y a 20 cm de profundidad.
- Se extrajo toda la hojarasca y suelo, se colocó en un saco de color blanco y se procedió a recolectar todos los organismos visibles utilizando pinceles o pinzas pequeñas.
- Se colocó los insectos y otros artrópodos en frascos con alcohol 70% y se los etiquetó.
- Se ubicaron las lombrices en formaldehído al 3%.
- Al acabar de recolectar toda la macrofauna se procedió a devolver la tierra a la calicata.
- Las muestras para los análisis físico-químicos fueron llevadas al laboratorio de investigación de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo en Riobamba y para la identificación de la macrofauna se llevó hasta el laboratorio de la ESPOCH Sede Morona Santiago.

### ***3.6.5. Identificación de la macrofauna***

Una vez llevadas las muestras de macrofauna al laboratorio se procedió a la identificación a nivel de Orden y Familia utilizando claves dicotómicas y conteo de poblaciones de macrofauna. Se realizó un registro fotográfico y se verificó con las bases de datos en internet para así lograr identificar todas las especies y posteriormente determinar los índices de diversidad.

#### ***3.6.5.1. Evaluación biológica de la calidad del suelo***

De una manera simple, la determinación de la calidad del suelo se define en dos categorías y haciendo uso de las siguientes ecuaciones tomadas de (Cabrera, 2014, p. 26):

$$C_s = \frac{\#Total\ de\ individuos\ detritívoros}{\#Total\ de\ individuos\ no\ detritívoros}$$

**Ecuación 1-3:** Ecuación para determinar la Calidad del suelo

$$C_s = \frac{\#lombrices\ de\ tierra}{\#individuos\ de\ hormigas}$$

**Ecuación 2-3:** Ecuación para determinar la Calidad del suelo

Donde:

$C_s$  = Calidad del suelo

- Alta calidad: Suelos con mayor cantidad de organismos donde el resultado es un valor  $>1$ .
- Baja calidad: Suelos con menor número de organismos donde el resultado es un valor  $<1$ .

Una vez ya obtenido los resultados del conteo e identificación de la macrofauna de los suelos forestales del Parque Botánico, se realizaron los cálculos de los índices de diversidad mediante las fórmulas que se presentan a continuación obtenidas en (Aguirre, 2013, pp. 32-39).

#### 3.6.5.2. Índice de abundancia relativa

$$A_R = \frac{\text{Número de individuos de una especie}}{\text{Total de individuos de todas las especies}} \times 100$$

**Ecuación 3-3:** Ecuación para determinar la Abundancia Relativa

Donde:

$A_R$ : Abundancia Relativa

#### 3.6.5.3. Índice de la diversidad de simpson

$$D_s = 1 - \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$$

**Ecuación 4-3:** Ecuación para determinar la Diversidad Simpson

Donde:

$D_s$ : Diversidad Simpson

$n$ : número de individuos de la especie

$N$ : Total de individuos

#### 3.6.5.3. Índice de la diversidad de Shannon – Wiener

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

**Ecuación 5-3:** Ecuación para determinar la Diversidad Shannon-Wiener

Donde:

H': Índice Shannon – Wiener

S: número de especies

pi: proporción de individuos de la especie *i* respecto al total de individuos (abundancia relativa de la especie *i*).

### 3.6.6. Caracterización Físico-Química del suelo

Los análisis físico-químicos se realizaron en el laboratorio de ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo siguiendo los procedimientos descritos en (Luters y Salazar, 1999, pp. 9-15), (Fernández et al., 2006, pp. 19-26), (Chambers et al., 2011, pp. 4-5).

#### 3.6.6.1. Densidad aparente

Para calcular la densidad aparente se realizó el método del cilindro que consistió en:

- Clavar un anillo de 2 pulgadas de diámetro y 15 cm de largo en el suelo hasta que se encuentre llena de tierra para luego remover el anillo cuidadosamente evitando pérdidas de suelo.
- Remover el exceso de suelo de la muestra con un cuchillo de hoja ancha.
- Colocar en una bolsa la muestra y etiquetar.
- Secar la muestra en una estufa por 24 horas a 105 °C.
- Pesar la muestra seca de suelo.

Cálculos

- Determinar el volumen del suelo en cm<sup>3</sup>

$$v_{suelo} = \pi r^2 h$$

**Ecuación 6-3:** Ecuación para determinar el volumen del suelo

- Determinar la densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

$$D_{ap} = \frac{P_{SS}}{V_S}$$

**Ecuación 7-3:** Ecuación para determinar la Densidad Aparente

Donde:

Dap: Densidad aparente

Pss: Peso seco del suelo

Vs: Volumen del suelo

### 3.6.6.2. Conductividad Eléctrica

El método que se utilizó fue por medio de un conductímetro ORION VERSASTAR PRO sobre un extracto de suelo y se realizó de la siguiente manera:

- Extraer una submuestra de 25g de suelo y colocar en un recipiente.
- Agregar 30 ml de agua destilada al recipiente con la submuestra.
- Agitar el recipiente con la submuestra con una varilla 25 veces.
- Calibrar el conductímetro con el buffer de calibración de 100 dS/m.
- Insertar el conductímetro en la mezcla suelo-agua.
- Registrar la CE cuando el valor se estabilice.

### 3.6.6.3. pH

Se midió el pH usando un pH metro accumet XL150 siguiendo el siguiente procedimiento:

- Extraer una submuestra de 25g de suelo y colocar en un recipiente.
- Agregar 30 ml de agua destilada al recipiente con la submuestra.
- Agitar el recipiente con la submuestra con una varilla 25 veces.
- Calibrar el pH metro con las soluciones buffer de 4, 7 y 10.
- Realizar la medición del pH insertando el medidor en el sector superior de la solución.
- Esperar de 0 a 30 segundos hasta que se estabilice y registrar el valor de pH.

### 3.6.6.4. Humedad

Para determinar la humedad se utilizó el método gravimétrico que consiste en lo siguiente:

- Pesar 1g de muestra sobre un vidrio reloj.
- Colocar la muestra en una estufa a 80 °C de 12 a 24 horas.
- Sacar la muestra de la estufa y colocarla en un desecador para lograr que se enfríe.
- Pesar la muestra.
- Calcular los porcentajes de humedad por diferencia de pesos:

$$\%Humedad\ del\ suelo = \left( \frac{P_i - P_{ss}}{P_{ss} - P_{crisol}} \right) \times 100$$

**Ecuación 8-3:** Ecuación para determinar la Humedad

Donde:

P<sub>i</sub>: Peso inicial de la muestra

P<sub>ss</sub>: Peso seco de la muestra

### 3.6.6.5. *Materia Orgánica*

El contenido de materia orgánica se determinó por el método Lost-Ignition siguiendo la metodología descrita en (Chambers et al., 2011, pp. 4-5) que se detalla a continuación:

- La muestra debe ser secada a temperatura ambiente por 1 día; luego tamizar a 2mm.
- Se procedió a pesar 5g de suelo en un crisol y se colocó en la estufa a 105°C por 24 horas. Tomar dato del peso del crisol.
- Se colocó las muestras en un desecador y se pesó nuevamente.
- Se coloca la muestra en una mufla a 550°C por 4 horas.
- Se coloca en un desecador hasta que se enfríe la muestra.
- Se registra el peso de la muestra.

El cálculo de la materia orgánica se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$\%MO = \frac{PSS_{105^{\circ}} - PSS_{550^{\circ}}}{PSS_{105^{\circ}}} \times 100$$

**Ecuación 9-3:** Ecuación para determinar la Materia Orgánica

Donde:

P<sub>ss</sub>: Peso del suelo seco

### 3.6.6.6. *Fósforo y Potasio*

Para la determinación del contenido de fósforo y potasio se llevó a cabo por espectrometría siguiendo la metodología de Olsen, para ello se realizó primero las siguientes disoluciones:

Soluciones y Reactivos

- Disolución de 42g de Bicarbonato de Sodio en 50 ml de agua destilada y aforar en un balón hasta 1000ml.
- Disolver 4g de Molibdato de Amonio en 50 ml de agua destilada y aforar a 100ml.
- Disolver 0,275g de Tartrato de Antimonio y Potasio en 50 ml de agua destilada y aforar a 100ml.
- Disolver 1,75g de Ácido Ascórbico en 50 ml de agua destilada y aforar a 100ml.
- Adicionar 56ml de Ácido Sulfúrico concentrado en 150ml de agua destilada agitar, enfriar y, aforar a 250ml.

- Para la solución patrón. Tomar 2ml de Fósforo 1000ppm y aforar a 50 ml.
- Tomar 4 alícuotas de 1, 3,4 y 5ml de la solución patrón y aforar a 100ml.
- Realizar la mezcla de las disoluciones realizadas: 200ml de agua destilada, 50ml Ácido Sulfúrico, 15ml de Molibdato de amonio, 30ml de Ácido Ascórbico y 5ml de Tartrato de Antimonio y Potasio.

#### Procedimiento

- Agregar 2g de cada muestra de suelo seco y tamizado a 2mm en un tubo y añadir 40ml de la solución preparada de bicarbonato de sodio.
- Agitar las muestras a 350 rpm por 30 minutos.
- Filtrar las muestras en vasos de precipitación usando papel filtro.
- Colocar una cucharada (0,5g) de carbón activado en un tubo de ensayo, adicionar 3ml de la muestra filtrada y 3 ml de agua destilada.
- Agitar las muestras a 350 rpm por 15 minutos.
- Colocar las muestras en una centrífuga por 5 minutos.
- Sacar con la pipeta 3ml de la muestra transparente y colocar en un tubo de ensayo.
- Adicionar 1ml de los reactivos mezclados en cada muestra.
- Dejar reposar 1 hora las muestras hasta que obtengan una coloración azul.

#### Para la determinación de Potasio:

- Llevar las muestras a un espectrómetro de absorción atómica y anotar los datos.
- Realizar los cálculos mediante la siguiente ecuación.

$$meq/100gK = \frac{[C] \times V}{W \times 10000} \times P_{molK}$$

#### **Ecuación 10-3:** Ecuación para determinar el Potasio

Donde:

[C]: Valor obtenido en el espectrofotómetro

V: Volumen del extracto

W: Peso de la muestra de suelo

P<sub>molK</sub>: Peso molecular del Potasio

#### Para la determinación de Fósforo:

- Tomar los estándares de calibración preparados a 1,3,4, 5ml y leer en el espectrofotómetro para construir la curva de calibración.
- Llevar cada muestra e insertar en el espectrofotómetro para determinar el valor.
- Realizar los cálculos mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{mgP}{kg} = \frac{[C] \times V}{W}$$

**Ecuación 11-3:** Ecuación para determinar el Fósforo

Donde:

[C]: Valor obtenido en el espectrofotómetro

V: Volumen del extracto

W: Peso de la muestra de suelo

### 3.6.7. Determinación del Índice de Calidad de Suelo (ICS)

Para evaluar la calidad del suelo se establecieron las propiedades que para el suelo se consideran importantes.

**Tabla 5-3:** Parámetros considerados para la Evaluación del suelo del Parque Botánico

Indicador	Unidad de medición	Valor máximo	Valor mínimo
pH		7	5,5
Conductividad Eléctrica	dS/m	1	0,01
Densidad Aparente	mg/cm <sup>3</sup>	1,5	1,15
Materia Orgánica	%	Mayor a 5	2
Humedad	%	50	5
Fósforo disponible	ppm	Mayor a 30	4,09
Potasio disponible	meq/100g	Mayor a 0,8	0,2

Realizado por: Riera, Erik, 2022

Para obtener un valor único de cada parámetro se realizó un promedio de todas las muestras analizadas en representación del área total. Después se normalizó los indicadores en una escala de 0 – 1 el cual representa la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad.

La siguiente ecuación se emplea cuando el suelo presenta situaciones estables ( $V_n=1$ ).

$$V_n = \frac{(I_m - I_{mín})}{(I_{máx} - I_{mín})}$$

**Ecuación 12-3:** Ecuación para normalizar ( $V_n=1$ )

Ecuación empleada para la peor situación de la calidad de suelo (inestabilidad del suelo  $V_n=0$ )

$$V_n = 1 - \frac{(I_m - I_{mín})}{(I_{máx} - I_{mín})}$$

**Ecuación 13-3:** Ecuación para normalizar ( $V_n=0$ )

Donde:

$V_n$ : Valor normalizado

$I_m$ : Medida del indicador

$I_{máx}$ : Valor máximo del indicador

$I_{\text{mín}}$ : Valor mínimo del indicador

Los valores máximos y mínimos se establecieron para cada indicador teniendo en cuenta las condiciones óptimas de algunos parámetros y en otros se definieron mediante criterios teóricos. Para la materia orgánica se tuvo como referencia el mínimo requerimiento para cumplir con la condición de mólculo y en valor máximo el promedio de los valores medidos en los suelos del área de estudio. El valor mínimo de pH se estableció de acuerdo al punto de toxicidad para el desarrollo de la fauna y el valor máximo se definió al pH neutro. Para el valor de la densidad aparente mínima se determinó el promedio de los valores medidos en los suelos del área de estudio y el valor máximo se consideró a un valor de  $1,5 \text{ g/cm}^3$  en el cual se presentan problemas de aireación e infiltración del agua en los suelos. El contenido de humedad de los suelos generalmente se encuentra en el rango de 5 a 50% lo que representa los valores máximos y mínimos respectivamente. El valor de Conductividad Eléctrica se tomó como referencia los valores óptimos para el cultivo considerando que valores menores a  $0,5 \text{ dS/m}$  mantienen un buen desarrollo y valores mayores a  $1 \text{ dS/m}$  presentan dificultades en muchos cultivos. Para el Fósforo disponible se tomó como referencia el valor máximo y mínimo de los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio. El valor máximo de Potasio se tomó el más alto obtenido en los análisis mientras que el valor mínimo se consideró el mínimo de requerimiento que puede ser asimilado por las plantas. Luego de haber obtenido todos los valores de cada indicador se estableció un índice de calidad de suelos (ICS) realizando un promedio de cada indicador por lo cual, para la interpretación del ICS se comparó el valor resultante en la Tabla 2-2.

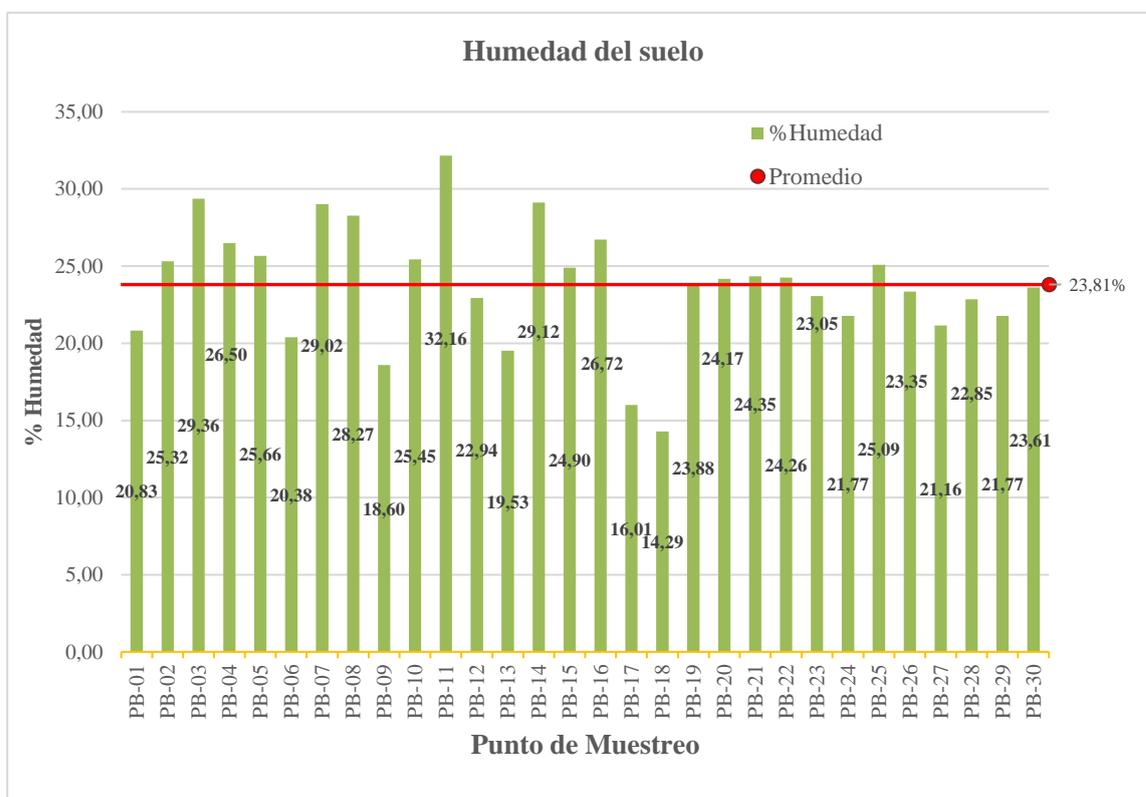
## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de los parámetros Físicos del Parque Botánico

##### 4.1.1. Humedad

La humedad es de suma importancia debido a su acción intemperizadora de rocas y minerales y la ionización de macro y micronutrientes además de ser esencial para los seres vivos que habitan en el suelo. De la misma forma la humedad resulta ser perjudicial ya que disminuye la disponibilidad de Nitrógeno.



**Ilustración 1-4:** Medición y valor promedio de humedad del suelo

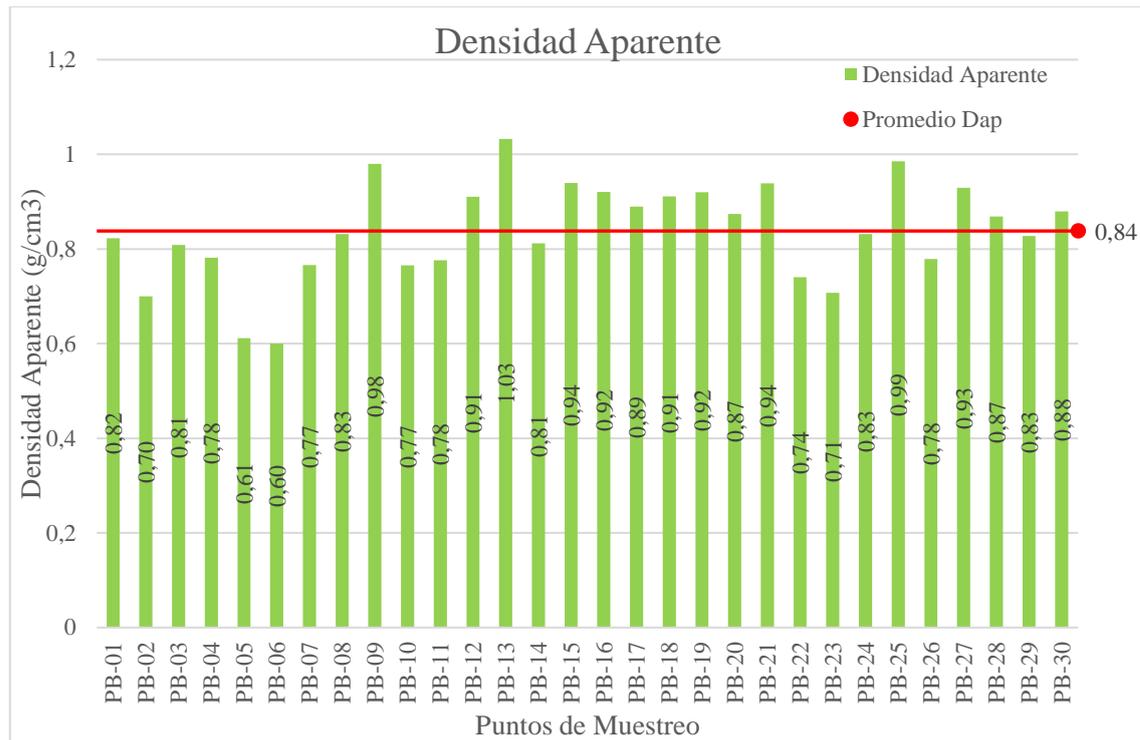
Realizado por: Riera, Erik, 2022.

Los resultados de la humedad en el área del Parque Botánico se indican en la Ilustración 1-4 en el cual se registran ligeros cambios en cada punto de muestreo. Los valores obtenidos de humedad se encuentran en un rango intermedio entre los límites máximos y mínimos establecidos por lo que el valor promedio de humedad corresponde a un 23,81% lo que indica un valor aceptable e

importante para las actividades físicas, químicas y biológicas del suelo (Herrera et al., 2016, p. 4).

#### 4.1.2. Densidad Aparente

La Densidad Aparente permite ver el grado de compactación del suelo, porosidad y la capacidad de infiltración considerando que dichos factores afectan el crecimiento de las plantas por el efecto de resistencia y porosidad del suelo sobre las raíces.



**Ilustración 2-4:** Mediciones de Densidad Aparente y valor promedio del suelo

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

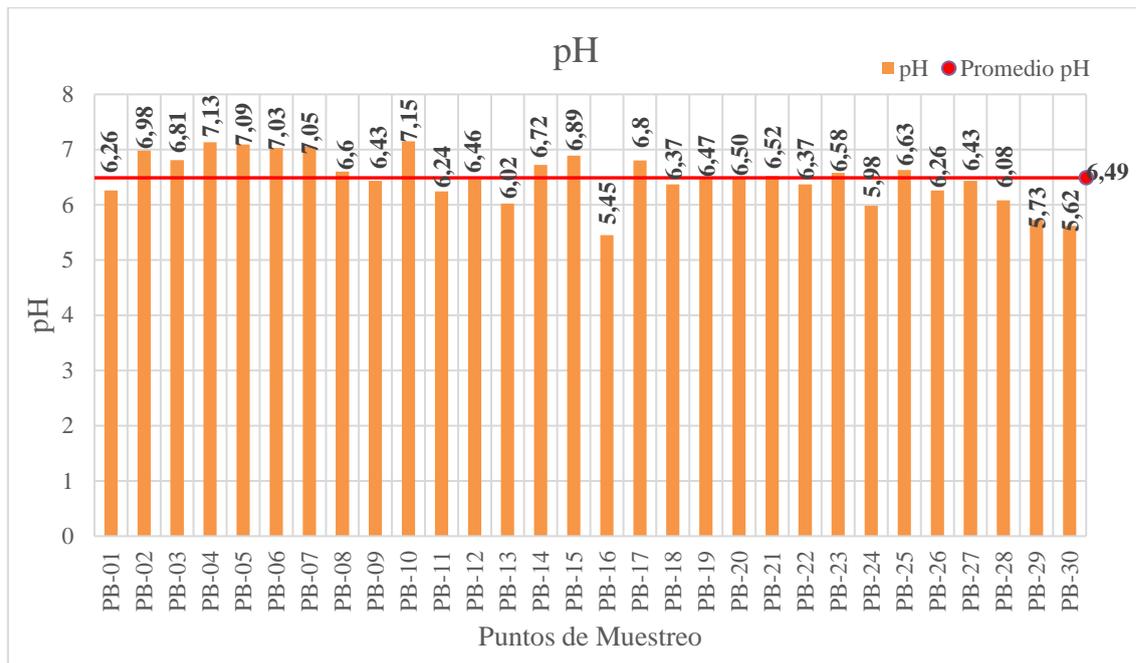
Los resultados de la Densidad Aparente en los suelos del Parque Botánico indicados en la Ilustración 2-4 registran ligeros cambios en cada uno de los puntos muestreados con un valor promedio de  $Dap = 0,84 \text{ g/cm}^3$  que, al encontrarse por debajo de  $1,5 \text{ g/cm}^3$  establece una buena condición porosa, aireada, con buen drenaje y excelente penetración de las raíces facilitando así el desarrollo de las raíces (Rubio, 2010, pp. 75-82).

## 4.2. Análisis de los parámetros Químicos

### 4.2.1. pH

El pH en el suelo controla las reacciones químicas que determinan la disponibilidad de nutrientes

por lo que influye de manera directa en los seres vivos originando cambios en la flora y fauna.



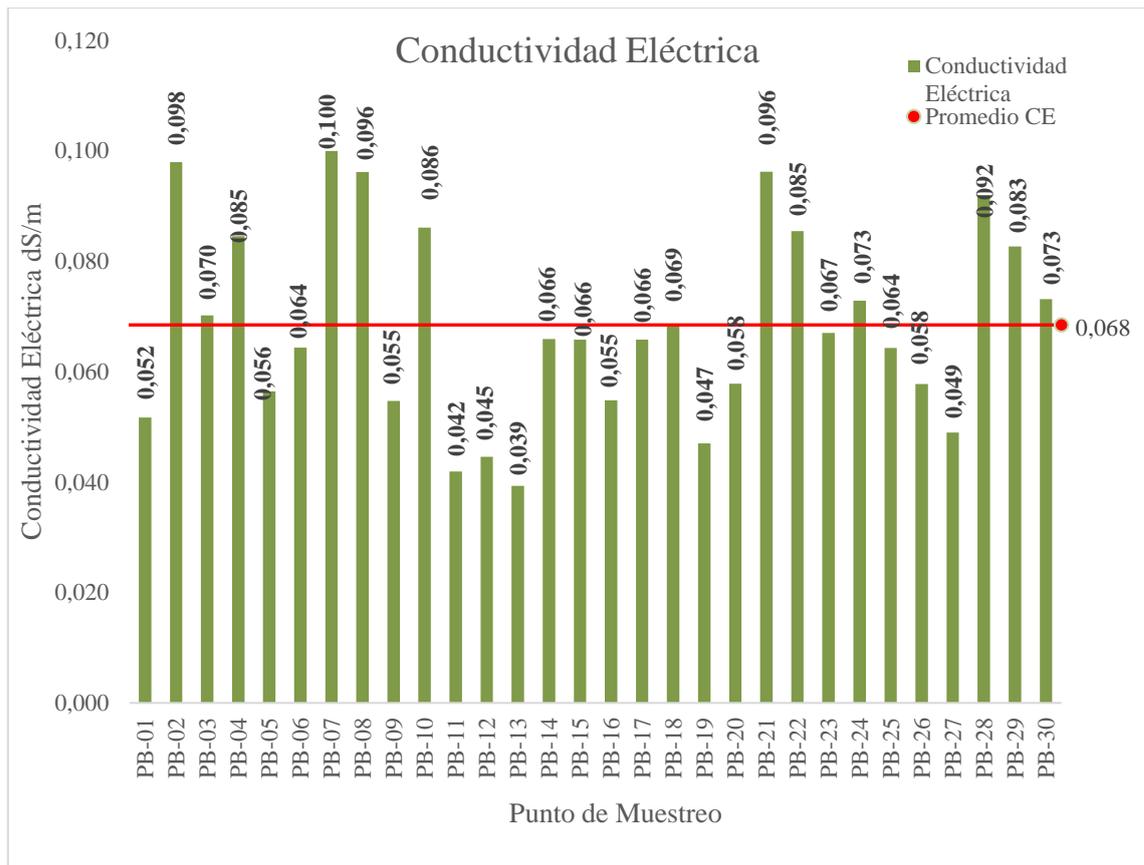
**Ilustración 3-4:** Mediciones del pH y valor promedio del suelo

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

En la Ilustración 3-4 se observa los valores de pH medidos en los suelos del Parque Botánico en el cual, el valor promedio total del área de estudio está dado por  $\text{pH}=6,49$  y de acuerdo con la Tabla 4-1 representa un suelo ligeramente ácido y se encuentra en un rango óptimo para el crecimiento de las plantas (Porta, 2008b, p. 251), (Bárbaro et al., 2005, p. 2).

#### 4..2.2. Conductividad Eléctrica

La Conductividad Eléctrica determina si el suelo presenta características salinas o sódicas sumado a esto indica el esfuerzo que debe realizar la raíz de una planta para lograr absorber los nutrientes necesarios (Bárbaro et al., 2005, p. 7). La adición de fertilizantes al suelo afecta los valores de CE que de acuerdo a su composición química esto puede tener un efecto salinizante.



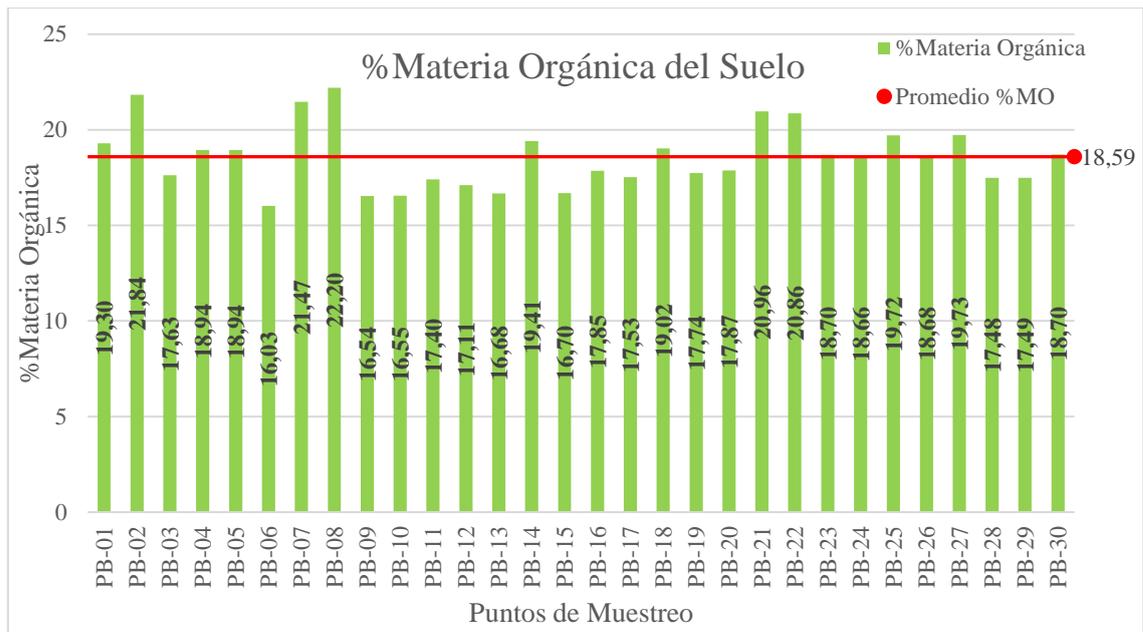
**Ilustración 4-4:** Mediciones de la Conductividad Eléctrica y valor promedio del suelo

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

La Ilustración 4-4 muestra los valores de CE obtenidos en los puntos de muestreo del área de estudio de lo cual el valor promedio del parámetro corresponde a 0,068 dS/m lo que indica de acuerdo con la Tabla 5-2 un suelo no salino que resulta muy favorable para el manejo de fertilización controlada lo que evita problemas por fitotoxicidad en los cultivos (Gallart, 2017, p. 4).

#### 4.2.3. *Materia Orgánica*

El contenido de Materia Orgánica es un índice que estima una aproximación de las reservas de los macroelementos (N, P, S) que existen en el suelo y permite mejorar algunas de las propiedades físicas, químicas y biológicas que son favorables en el crecimiento de plantas (Martínez et al., 2008, p. 69) . Los valores se obtuvieron mediante el empleo de la ecuación 9-3.



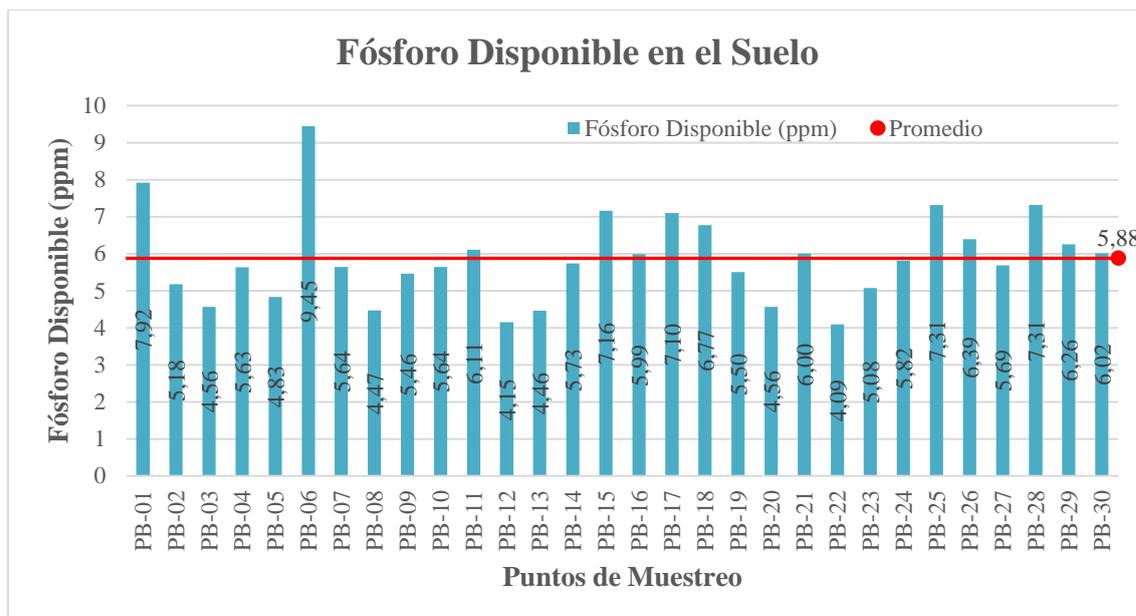
**Ilustración 5-4:** Medición de la Materia Orgánica del Suelo y su valor promedio

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

La Materia Orgánica analizada en las muestras de suelo del área de estudio no varían significativamente, se tuvo un rango de 16,03% a 22,20% con un valor medio de 18,59% tal como se indica en la Ilustración 5-4. El valor promedio obtenido indica un alto contenido de materia orgánica lo que permite reducir efectos frente al cambio climático por el hecho de que la superficie terrestre conforma un reservorio de carbono estable (Molina, 1978, pp. 6-8).

#### 4.2.3. Fósforo Disponible

El Fósforo al ser un elemento sumamente importante está influenciado directamente por algunas de las propiedades del suelo, de la planta y las condiciones ambientales; es decir, cualquier cambio en las propiedades mencionadas afectarían la concentración de Fósforo (Molina, 1978, p. 7).



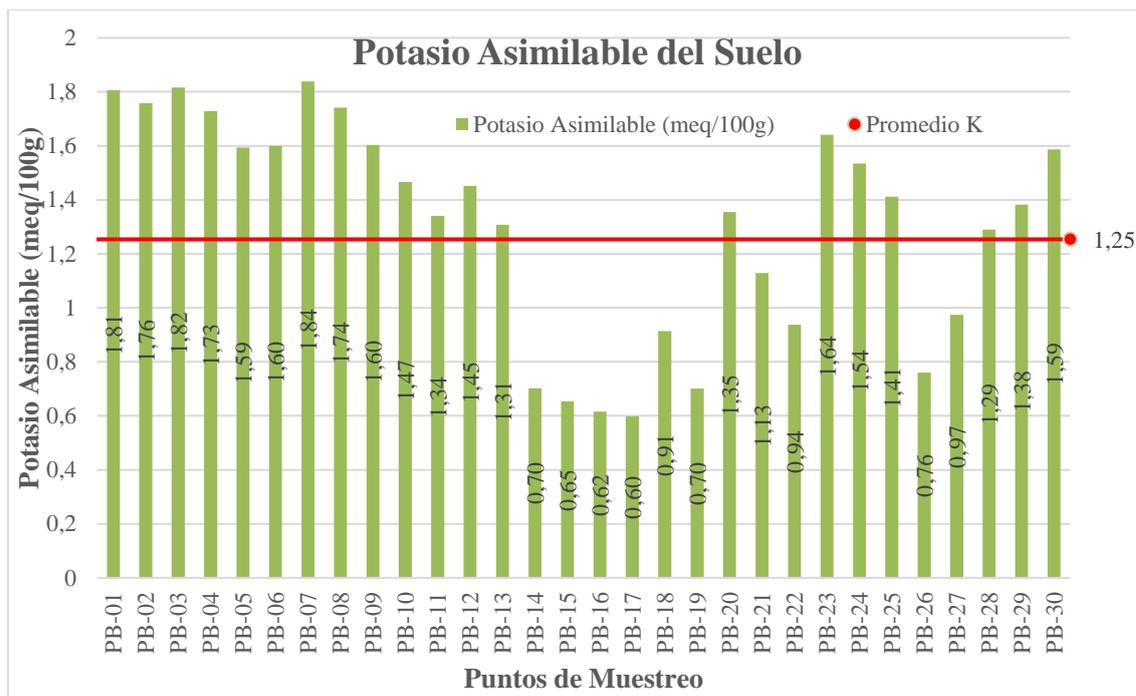
**Ilustración 6-4:** Medición del Fósforo Disponible del Suelo y su valor promedio

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

La Ilustración 6-4 indica los valores de Fósforo disponible obtenidos en los muestreos realizados en los suelos del Parque Botánico que va de un rango de 4,09 a 9,45ppm; siendo 5,88ppm el valor promedio del suelo del lugar y de acuerdo con la Tabla 6-2 el valor de P disponible se califica como POBRE. La razón del bajo contenido de Fósforo es el resultado de la abundante vegetación con un gran sistema radicular que existe en el Parque Botánico, de manera especial la especie *Tindiuky Neida* la cual tiene mayor presencia en el lugar. De acuerdo con Munera & Meza (2012, pp. 11-15) el P disponible corresponde a una variable dinámica, la cual incrementa a medida que los árboles formen asociaciones micorrizas donde los elementos liberados en el proceso aceleran la meteorización para mineralizar la disponibilidad del Fósforo.

#### 4.2.4. Potasio Asimilable

El Potasio en los suelos es muy variable y es absorbido por las plantas en forma de ion K lo que les ayuda a tolerar climas fríos y generar resistencia en sequías y enfermedades.



**Ilustración 7-4:** Medición del Potasio del Suelo y su valor promedio

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

Los valores de Potasio analizados en las muestras de suelo del Parque Botánico tienen poca varianza entre ellos, en el que se obtuvo un rango que va de 0,60 a 1,84 meq/100g; donde 1,25 meq/100g constituye el valor promedio de Potasio en el lugar de estudio y de acuerdo a la escala de interpretación descrita en la Tabla 7-2 el suelo del Parque Botánico presenta una ALTO contenido de Potasio lo que indica que los suelos mantienen grandes reservas de dicho elemento en todas sus formas lo que resulta importante para mantener la vegetación del lugar.

### 4.3. Índice de Calidad del Suelo

El Índice de Calidad de Suelos se representa en 5 clases como indica la Tabla 2-2.

**Tabla 1-4:** Indicadores e Índice de Calidad del Suelo

Indicador	Valor Indicador
Materia Orgánica	0,82
pH	0,66
Conductividad Eléctrica	0,94
Humedad	0,42
Densidad Aparente	0,66
Fósforo Disponible	0,33
Potasio Asimilable	0,64

<b>Índice de Calidad del Suelo</b>	0,64
------------------------------------	------

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

En la Tabla 1-4 se presentan los Vn (Valores normalizados) de cada indicador calculado y el Índice de Calidad del Suelo resultante con un valor de 0,64 y que de acuerdo con la Tabla 2-2 pertenece a la Clase 2 y representa una Alta Calidad correspondiente a un rango de 0,60 – 0,79.

**Tabla 2-4:** Indicadores de Calidad del Suelo de cada parámetro

<b>Indicador</b>	<b>ICS</b>
<b>Materia Orgánica</b>	Muy alta calidad
<b>pH</b>	Alta calidad
<b>Conductividad Eléctrica</b>	Muy alta calidad
<b>Humedad</b>	Moderada Calidad
<b>Densidad Aparente</b>	Alta calidad
<b>Fósforo Disponible</b>	Baja calidad
<b>Potasio Disponible</b>	Alta Calidad

Realizado por: Riera, Erik, 2022

El indicador que presentó el menor valor fue el fósforo con un ICS de Clase 4 perteneciente a una Baja Calidad seguido de la humedad con ICS de Clase 3 de Moderada Calidad, mientras que los indicadores de pH, Potasio y Densidad Aparente presentaron una Alta Calidad y los restantes indicadores obtuvieron valores de máxima calidad tal como se indica en la Tabla 2-4.

El valor del ICS obtenido correspondiente a la clase de Alta Calidad se encuentra fuertemente influenciado por el indicador de Materia Orgánica el mismo que representa influencia sobre muchas de las propiedades del suelo.

#### 4.4. Análisis de la Macrofauna Edáfica

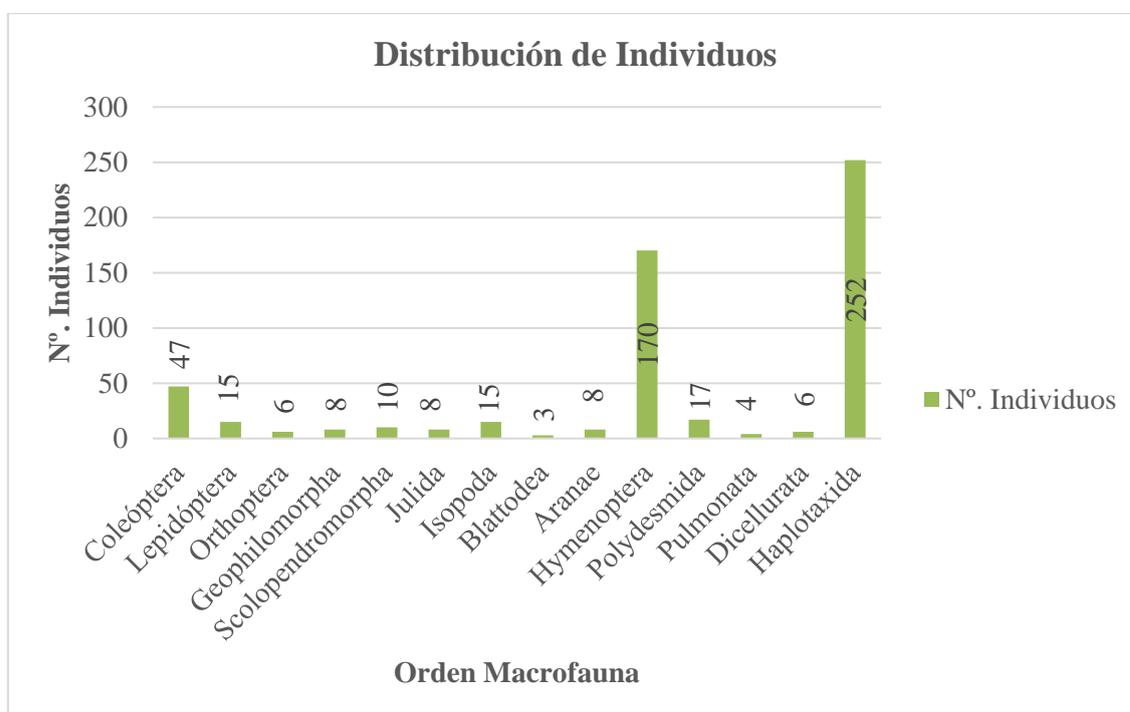
Se recolectó un total de 569 individuos correspondientes a 14 órdenes y 23 familias de macrofauna edáfica. La orden más diversa fue Coleóptera con 7 familias. Se muestra en la Tabla 3-4 la distribución de familias y orden de los individuos encontrados en los suelos del Parque Botánico.

**Tabla 3-4:** Riqueza y Abundancia de la Macrofauna Edáfica

<b>ORDEN</b>	<b>FAMILIAS</b>	<b>N.º Individuos</b>
Coleóptera	7	47
Lepidóptera	1	15
Orthóptera	2	6
Geophilomorpha	1	8

Scolopendromorpha	1	10
Julida	1	8
Isópoda	1	15
Blattodea	1	3
Aranae	1	8
Hymenóptera	2	170
Polydesmida	1	17
Pulmonata	2	4
Dicellurata	1	6
Haplotaxida	1	252
<b>Total de Individuos</b>	<b>23</b>	<b>569</b>

Realizado por: Riera, Erik, 2022



**Ilustración 8-4:** Distribución de la Macrofauna en suelos del Parque Botánico

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

En la Ilustración 6-4 se observa la distribución total de los individuos en los suelos del Parque Botánico, donde el orden Haplotaxida es la que contiene más individuos (252) seguido del orden Hymenóptera con 170 individuos.

En los puntos de muestreo se encontró una variedad de individuos cuya identificación y caracterización se presenta a continuación en la Tabla 4-4.

**Tabla 4-4:** Macrofauna Edáfica del suelo del Parque Botánico

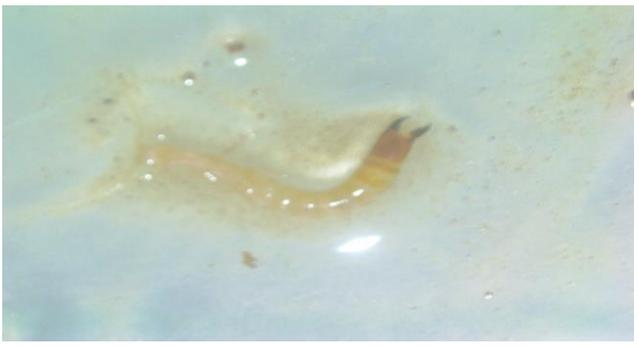
IMAGEN	DESCRIPCIÓN
<b>ORDEN COLEÓPTERA</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>ESCARABAJO</b></p> <p>Orden: Coleóptera</p> <p>Familia: Anthicidae</p>
	<p style="text-align: center;"><b>ESCARABAJO</b></p> <p>Orden: Coleóptera</p> <p>Familia: Staphylinidae</p>
	<p style="text-align: center;"><b>ESCARABAJO</b></p> <p>Orden: Coleóptera</p> <p>Familia: Dermestidae</p>
	<p style="text-align: center;"><b>ESCARABAJO</b></p> <p>Orden: Coleóptera</p> <p>Suborden: Polyphaga</p> <p>Familia: Scarabaeidae</p>

	<p style="text-align: center;"><b>ESCARABAJO</b></p> <p>Orden: Coleóptera</p> <p>Familia: Scarabaeidae</p> <p>Género: Canthon</p>
	<p style="text-align: center;"><b>ESCARABAJO</b></p> <p>Orden: Coleóptera</p> <p>Familia: Tenebrionidae</p>
	<p style="text-align: center;"><b>GUSANO ALAMBRE</b></p> <p>Orden: Coleóptera</p> <p>Superorden: Polyphaga</p> <p>Familia: Elateridae</p>
<b>ORDEN LEPIDÓPTERA</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>ORUGAS</b></p> <p>Clase: Insecta</p> <p>Orden: Lepidoptera</p>
<b>ORDEN ORTHÓPTERA</b>	

	<p style="text-align: center;"><b>GRILLO</b></p> <p>Orden: Orthoptera</p> <p>Familia: Gryllidae</p>
	<p style="text-align: center;"><b>GRILLO</b></p> <p>Orden: Orthoptera</p> <p>Familia: Gryllidae</p> <p>Especie: Acheta domesticus</p>
<b>ORDEN GEOPHILOMORPHA</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>CIEMPIÉS</b></p> <p>Clase: Chilopoda</p> <p>Orden: Geophilomorpha</p> <p>Familia: Geophilidae</p>
<b>ORDEN SCOLOPENDROMORPHA</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>CIEMPIÉS</b></p> <p>Orden: Scolopendromorpha</p> <p>Familia: Scolopendridae</p>
<b>ORDEN JULIDA</b>	

	<p style="text-align: center;"><b>CIENPIÉS</b></p> <p>Clase: Diplopoda</p> <p>Orden: Julida</p>
<b>ORDEN ISÓPODA</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>COCHINILLAS</b></p> <p>Clase: Malacostraca</p> <p>Orden: Isopoda</p> <p>Familia: Armadillidae</p> <p>Especie: A. vulgar</p>
<b>ORDEN BLATTODEA</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>CUCARACHA</b></p> <p>Superorden: Dictyóptera</p> <p>Orden: Blattodea</p> <p>Familia: Blattellidae</p>
<b>ORDEN ARANAE</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>ARAÑA</b></p> <p>Orden: Araneae</p> <p>Familia: Clubionidae</p>
<b>ORDEN HYMENÓPTERA</b>	

	<p style="text-align: center;"><b>HORMIGA</b></p> <p>Orden: Hymenóptera</p> <p>Familia: Formicidae</p> <p>Género: Forelius</p>
	<p style="text-align: center;"><b>HORMIGA</b></p> <p>Orden: Hymenóptera</p> <p>Familia: Formicidae</p> <p>Género: Lasius</p> <p>Especie: L. niger</p>
<b>ORDEN POLYDESMIDA</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>MILPIÉS</b></p> <p>Clase: Diplopoda</p> <p>Orden: Polydesmida</p> <p>Familia: Paradoxosomatidae</p>
<b>ORDEN PULMONATA</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>CARACOL</b></p> <p>Clase: Gastrópoda</p> <p>Orden: Pulmonata</p>

	<p style="text-align: center;"><b>CARACOL</b></p> <p>Clase: Gastrópoda</p> <p>Orden: Pulmonata</p>
<b>ORDEN DICELLURATA</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>DOBLE COLA</b></p> <p>Clase: Diplura</p> <p>Orden: Dicellurata</p> <p>Familia: Japygidae</p>
<b>ORDEN HAPLOTAXIDA</b>	
	<p style="text-align: center;"><b>LOMBRICES DE TIERRA</b></p> <p>Clase: Clitellata</p> <p>Subclase: Oligochaeta</p> <p>Orden: Haplotaxida</p>

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

Se clasificó cada organismo encontrado en grupos funcionales de acuerdo a su forma de vida y su fuente de alimentación tal como se indica en la Tabla 5-4.

**Tabla 5-4:** Grupos Funcionales de la Macrofauna Edáfica del Parque Botánico

Familias/Grupos Funcionales	Total
<b>Detritívoros</b>	
Haplotaxida	252
Armadillidae	15

Paradoxosomatidae	17
Scolopendridae	10
Tenebrionidae	12
<b>Total Detritívoros</b>	<b>306</b>
<b>Depredadores</b>	
Geophilidae	8
Staphylinidae	10
Clubionidae	8
Julida	8
Dermeestidae	6
<b>Total Depredadores</b>	<b>40</b>
<b>Herbívoros</b>	
Pulmonata	4
Lepidóptera	15
Scarabaeidae	6
Formicidae	170
Gryllidae	6
<b>Total Herbívoros</b>	<b>201</b>
<b>Omnívoros</b>	
Blattellidae	3
Anthicidae	7
Canthon	3
<b>Total Omnívoros</b>	<b>13</b>
<b>Organismos No Identificados</b>	
Elateridae	3
Japygidae	6
<b>Total O. No Identificados</b>	<b>9</b>

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

El total de organismos detritívoros que existen en los suelos del Parque Botánico son 306, y los organismos que conforman la agrupación no detritívoros contienen 263 individuos. Al aplicar la Ecuación 1-3 (Detritívoros/No Detritívoros) y Ecuación 2-3 (Lombrices/Hormigas) de acuerdo con la metodología descrita en Cabrera (2014, p. 30) los valores resultantes fueron de 1,16 y 1,48 respectivamente; al ser estos resultados mayores a 1 indican que el suelo contiene una Alta Calidad.

#### **4.4.1. Índices de diversidad y su relación con la calidad biológica del suelo**

#### 4.4.1.1. Índice de Abundancia Relativa

El índice de Abundancia Relativa se refiere a lo común que puede ser una especie en comparación con otras especies en una comunidad. De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 6-4, se evidencia que el orden de mayor proporción es el Haplotaxida con 44,29 % pertenecientes a las lombrices. Esta representatividad indica que esta especie tiene una buena distribución en el suelo con buena función detritívora y alto grado de descomposición de materia orgánica (Aguirre, 2013, p. 32).

**Tabla 6-4:** Abundancia Relativa de la Macrofauna Edáfica

ORDEN	N.º Individuos	Abundancia Relativa (%)
Coleóptera	47	8,26
Lepidóptera	15	2,64
Orthoptera	6	1,05
Geophilomorpha	8	1,41
Scolopendromorpha	10	1,76
Julida	8	1,41
Isopoda	15	2,64
Blattodea	3	0,53
Aranae	8	1,41
Hymenoptera	170	29,88
Polydesmida	17	2,99
Pulmonata	4	0,70
Dicellurata	6	1,05
Haplotaxida	252	44,29
<b>Total de Individuos</b>	<b>569</b>	<b>100,00</b>

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

#### 4.4.1.2. Índice de Diversidad de Simpson

El índice de diversidad de Simpson en los suelos forestales del Parque Botánico fue de 0,71 lo que proyecta a un índice de diversidad alta de acuerdo con la Tabla 7-2.

**Tabla 7-4:** Diversidad de Simpson

ORDEN	N.º Individuos	Diversidad de Simpson
Coleóptera	47	0,0067
Lepidóptera	15	0,0006
Orthoptera	6	0,0001
Geophilomorpha	8	0,0002
Scolopendromorpha	10	0,0003

Julida	8	0,0002
Isopoda	15	0,000650
Blattodea	3	0,0000186
Aranae	8	0,00017
Hymenoptera	170	0,0889
Polydesmida	17	0,00084
Pulmonata	4	0,000037
Dicellurata	6	0,00009
Haplotaxida	252	0,1957
<b>Total de Individuos</b>	<b>569</b>	<b>0,29</b>
<b>Índice de Diversidad de Simpson</b>		<b>0,71</b>

**Realizado por:** Riera, Erik, 2022.

De acuerdo con Moreno (2015, p. 41) el valor obtenido en el Índice de diversidad de Simpson indica que los suelos muestreados reflejan abundante riqueza de especies en las cuales la mayor parte del suelo forestal no ha sido intervenida por acciones antrópicas y perturbaciones ambientales. Además, es importante destacar que se ha formado grandes poblaciones de macrofauna en el sitio debido al equilibrio del ecosistema libre de acciones que perturban el suelo.

#### 4.4.1.3. Índice de Diversidad de Shannon – Wiener

Este Índice mide la biodiversidad sin tener en cuenta la distribución en el espacio. En la zona de estudio se obtuvo el valor de 1,63 lo que indica que la diversidad en el ecosistema estudiado es media (Tabla 8-2).

**Tabla 8-4:** Diversidad de Shannon - Wiener

ORDEN	FAMILIAS	Diversidad S-W
Coleóptera	7	0,21
Lepidóptera	1	0,10
Orthoptera	2	0,05
Geophilomorpha	1	0,06
Scolopendromorpha	1	0,07
Julida	1	0,06
Isopoda	1	0,10
Blattodea	1	0,03
Aranae	1	0,06
Hymenoptera	2	0,36
Polydesmida	1	0,10
Pulmonata	2	0,03
Dicellurata	1	0,05

Haplotaxida	1	0,36
<b>Índice de Shannon - Wiener</b>		<b>1,63</b>

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

De acuerdo con el Índice de diversidad de Shannon – Wiener el área de estudio presentó una diversidad media; esto se debe a la intensidad de cobertura arbórea y arbustiva que existe en el lugar lo que garantiza abundante entrada de materia orgánica cuya acción resulta favorable para el establecimiento de los macroinvertebrados (Pashanasi, 2006, p. 77).

#### 4.4.1.4. Evaluación de la calidad del suelo mediante indicadores biológicos

La macrofauna edáfica es un indicador del estado de la calidad del suelo debido a su sensibilidad a perturbaciones significativas que sufre el suelo por acciones naturales o antrópicas; esto se refleja en la pérdida, variación e intensidad de familias e individuos que conforman la macrofauna. El análisis cualitativo y cuantitativo permitió realizar una evaluación de la calidad del medio edáfico en el que se presentó la dominancia de la familia Haplotaxida (Tabla 9-4) correspondiente a los individuos de lombrices cuya función detritívora resulta favorable para mantener la calidad del suelo en buenas condiciones aportando grandes cantidades de material orgánico (Cabrera, 2014, p. 9).

**Tabla 9-4:** Dominancia de los Índices de Diversidad biológica

ORDEN	N.º Individuos	Abundancia Relativa (%)	Diversidad de Simpson	Diversidad de Shannon-Wiener
Coleóptera	47	8,26	0,0067	0,21
Lepidóptera	15	2,64	0,0006	0,10
Orthoptera	6	1,05	0,0001	0,05
Geophilomorpha	8	1,41	0,0002	0,06
Scolopendromorpha	10	1,76	0,0003	0,07
Julida	8	1,41	0,0002	0,06
Isopoda	15	2,64	0,000650	0,10
Blattodea	3	0,53	0,0000186	0,03
Aranae	8	1,41	0,00017	0,06
Hymenoptera	170	29,88	0,0889	0,36
Polydesmida	17	2,99	0,00084	0,10
Pulmonata	4	0,70	0,000037	0,03
Dicellurata	6	1,05	0,00009	0,05
Haplotaxida	252	44,29	0,1957	0,36
<b>Total de Individuos</b>	<b>569</b>	<b>100,00</b>	<b>0,71</b>	<b>1,63</b>

Realizado por: Riera, Erik, 2022.

## CONCLUSIONES

Se determinó las características físicas, químicas y biológicas del suelo forestal del Parque Botánico del Cantón Sucúa por medio de 30 muestras aleatorias simples de suelo distribuidas en 28,06 hectáreas. Para el Índice de Calidad de Suelos (ICS), se realizó el análisis físico químico considerando los parámetros de pH, conductividad eléctrica, densidad aparente, materia orgánica, Fósforo disponible, Potasio asimilable y humedad; cuyo valor resultante fue de 0,64 correspondiente a la Clase 2 lo que representa una ALTA CALIDAD del suelo. De acuerdo con el método biológico (macrofauna edáfica) se encontró un total de 569 individuos distribuidos en distintos grupos funcionales (detritívoros, depredadores, herbívoros y omnívoros) siendo el grupo más abundante en la zona de estudio los organismos detritívoros (306 individuos) frente a los organismos no detritívoros (263 individuos) y mediante la relación detritívoros/no detritívoros se obtuvo un valor mayor a 1 lo que indica una ALTA CALIDAD del suelo.

Se caracterizaron un total de 23 familias de macrofauna, entre la más representativa: *Coleóptera* compuesta principalmente por los escarabajos cuya labor facilita la descomposición de la materia orgánica que proviene de plantas y animales lo que garantiza el reciclaje de los nutrientes en la zona.

Mediante el ICS y la macrofauna edáfica se determinó el estado en el que se encuentran los suelos del Parque Botánico en el que se reportó un nivel de calidad del suelo ALTO. Además, con los resultados obtenidos se pudo establecer que los organismos biológicos mantienen las condiciones físicas del suelo y se adaptan a los parámetros químicos, es por ello que para determinar la calidad del suelo se puede ejecutar cualquier método ya sea físico, químico o biológico.

De acuerdo con la aplicación de los índices de biodiversidad, se permitió el análisis tanto de las poblaciones como de sus especies, siendo estas importantes herramientas que permiten observar si existen perturbaciones ambientales en el lugar de estudio. Además, mediante los índices de Simpson y Shannon – Wiener se manifestó que los suelos contienen diversidad ALTA y MEDIA respectivamente; esto se ve reflejado en los organismos encontrados ya que la mayor diversidad de macrofauna encontrada es referente a organismos importantes del suelo que permiten estabilidad.

## **RECOMENDACIONES**

A los técnicos del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Sucúa encargados del Parque Botánico, continuar con el proceso de investigación incrementando algunos de los parámetros físicos y químicos para así lograr una mejor visión del estado en el que se encuentran los suelos del Parque Botánico.

Se sugiere que se socialice los datos obtenidos en el sector con las autoridades y los pobladores cercanos para que puedan tener conocimiento del estado en el que se encuentra el suelo del Parque Botánico con el fin de concientizar sobre la importancia de su conservación. Conservar los árboles nativos, arbustos y demás vegetación en el Parque botánico para mantener un equilibrio entre las diferentes poblaciones de organismos.

Desarrollar propuestas de conservación y turismo sostenible en el Parque Botánico.

Para estudios futuros se recomienda realizar una revista pública que permita informar la clase y caracterización de individuos de macrofauna encontrados en el Parque Botánico para que sirva como punto de partida para nuevas investigaciones.

## **GLOSARIO**

**Antrópica:** Son actividades producidas por seres humanos que se han desarrollado con el tiempo y que producen la modificación en la naturaleza.

**ICS:** Índice de Calidad del Suelo

**Macrofauna:** Son organismos invertebrados que habitan en el suelo con un tamaño mayor a 2 mm que pueden verse a simple vista y tanto su densidad como la biomasa varían de acuerdo con el manejo del suelo.

**GAD:** Gobierno Autónomo Descentralizado

**Dap:** Densidad Aparente

**USDA:** Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

**COS:** Carbono Orgánico del Suelo

**P:** Fósforo

**CE:** Conductividad Eléctrica

**Detritívoro:** Organismos que obtienen su alimentación de materia orgánica en descomposición por lo que son importantes en el ecosistema.

**INIAP:** Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ACUERDO MINISTERIAL 97 R.O.E.E 387.** *Reforma Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI, Decreto Ejecutivo 3516. Recurso suelo* [en línea], 2015, (Ecuador), pp. 18-34. [Consulta 28 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>.

**AGUIRRE, Z.** "Guía De Métodos Para Medir La Biodiversidad". *UNL* [en línea], 2013, (Ecuador), (1), pp. 35-62. [Consulta: 26 mayo 2022]. Disponible en: <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/guia-para-medir-c3b3n-de-la-biodiversidad-octubre-7-2011.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), pp. 605-620. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 1405-3195. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/302/30236511.pdf>.

**BÁRBARO, L; et al.** "Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para plantas". *CIRN* [en línea], 2005, (Argentina), (1), pp. 1-15. [Consulta: 26 mayo 2022]. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_elctrica.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf).

**BARREZUETA, S; et al.** "Soil properties and storage of organic carbon in the land use pasture and forest". *Revista de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2019, (Colombia), (36), pp. 31-45. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 0120-0135. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012001352019000200031&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S012001352019000200031&script=sci_abstract&tlng=es)

**BAUTISTA, A; et al.** "La calidad del suelo y sus indicadores". *ecosistemas* [en línea], 2004, (México), (59), pp. 90-97. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 00068969. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572/541>

**BURBANO, H.** "El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria". *Revista de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2016, (Colombia), (33), pp. 117-124. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 2256-2273. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>

**BRACAMONTES, L; et al.** *Manual de indicadores biológicos de la salud del suelo*. México: UAM, 2018. ISBN 9786072813649, pp. 13-14.

**CABRERA, G.** "Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en cuba". *Rufford* [en línea], 2014, (Cuba), (1), pp. 7-24. [Consulta: 24 mayo 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/8347137-Manual-practico-sobre-la-macrofauna-edafica-como-indicador-biologico-de-la-calidad-del-suelo-segun-resultados-en-cuba.html>

**CABRERA, G; et al.** "La fauna del suelo". *Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas* [en línea], 2017, (Cuba), pp. 256-258. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: [http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/1454/16/254-283\\_Libro\\_Biodiversidad\\_Cuba\\_Cap%C3%ADtulo%2014.pdf](http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/1454/16/254-283_Libro_Biodiversidad_Cuba_Cap%C3%ADtulo%2014.pdf)

**CALDERÓN, C; et al.** "Propiedades químicas , físicas y biológicas del suelo , indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta". *Orinoquia* [en línea], 2018, (Colombia), (22), pp. 141-157. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v22n2/0121-3709-rori-22-02-00141.pdf>

**CAMPO, A. & DUVAL, V.** "Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calef". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* [en línea], 2014, (Argentina), (34), pp. 25-42. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 19882378. Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/47071>

**CANTÚ, M; et al.** "Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices". *Ciencia del Suelo* [en línea], 2007, (Argentina), (25), pp. 173-178. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 03263169. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672007000200008&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-20672007000200008&script=sci_arttext&tlng=es)

**CARBONERO, P.** "Química del suelo y los fertilizantes". *Departamento de biotecnología* [en línea], 2018, (España), (1), pp. 205. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: [http://oa.upm.es/54493/1/QUIMICA\\_3.pdf](http://oa.upm.es/54493/1/QUIMICA_3.pdf).

**CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.** *Norma: Decreto Legislativo #0. Registro oficial 449 de 20 Oct. 2008* [en línea], 2008, (Ecuador), pp. 1-136. [Consulta 28 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.cosede.gob.ec/wp->

content/uploads/2019/08/CONSTITUCION-DE-LA-REPUBLICA-DEL-ECUADOR.pdf.

**CUADRADO AYALA, María Luisa.** Estudio de Impacto Ambiental Generado por las Actividades Turísticas en la "Zona de Turismo Mínimo Impacto" del Territorio Ancestral Siona, Reserva de Producción Faunística Cuyabeno. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Carrera de Ecoturismo. Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 5-7. [Consulta: 29 mayo 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2763/1/23T0356.pdf>

**CHAMBERS, F; t al.** 2011. "Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density , organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics". *Mires and Peat* [en línea], 2011, (EEUU), (7), pp. 1-10. [Consulta: 4 junio 2022]. ISSN 1819-754. Disponible en: [http://pixelrauschen.de/wbmp/media/map07/map\\_07\\_07.pdf](http://pixelrauschen.de/wbmp/media/map07/map_07_07.pdf).

**CHOCA ALCOCER, Jorge Luis.** Propuesta de índice de calidad de suelos para la reserva de producción faunística de Chimborazo.(Trabajo de titulación) (Pregrado). [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Biotecnología Ambiental. Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 8-9. [Consulta: 28 mayo 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8532/1/236T0316.pdf>

**DORAN, J. & PARKIN, D.** *Defining soil quality for a sustainable environment.* [en línea], (México). Soil Science Society of America, 1994. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n80ne/suelo.pdf>

**ESPINOSA, J.** "Acidez y Encalado de suelos". *IPNI* [en línea], 2008, (Ecuador), pp. 1-3. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez%20y%20encalado%20de%20suelos,%20libro%20por%20J%20Espinosa%20y%20E%20Molina.pdf>

**FERNÁNDEZ, L; et al.** "Manual de técnicas de analisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados". [en línea], 2006, (México), (1), pp. 19-112. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008215.pdf>.

**FREIRE TENELEMA, María Alejandra.** Evaluación en fertilización de NPK-Ca en el cultivo

de astroemeria. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [en línea]. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica. Ambato, Ecuador. 2012. pp. 14-17. [Consulta: 29 mayo 2022]. Disponible en: <https://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2225/1/Tesis-27agr.pdf>

**GALLART MARTÍNEZ, Fernando.** La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelos de la zona norte del Parque Natural de la Albufera de Valencia. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [en línea]. Universidad Politécnica de Valencia, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agroalimentaria y del medio rural. Valencia, España. 2017. pp. 4-5. [Consulta: 29 mayo 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94368/GALLART - La conductividad eléctrica del suelo como indicador de la capacidad de uso de los suelo...pdf?sequence=1>.

**GARCÍA, Y; et al.** "Indicadores de la calidad de los suelos : una nueva manera de evaluar este recurso". *Pastos Y Forrajes* [en línea], 2012, (Cuba), (35), pp. 125-137. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 0864-0394. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942012000200001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001)

**GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN SUCÚA.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Sucúa.* [en línea], Sucúa, Ecuador. 2014. Morona Santiago. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1460000880001\\_Diagnostico\\_Componentes\\_PDyOT\\_Sucua\\_2015\\_10-03-2015\\_10-38-29.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1460000880001_Diagnostico_Componentes_PDyOT_Sucua_2015_10-03-2015_10-38-29.pdf).

**GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN SUCUA.** *Plan de Desarrollo Turístico de sucúa 2021-2025.* [en línea], Sucúa, Ecuador. 2021. Morona Santiago. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: [https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/PLAN-DE-TURISMO-SUCUA-2021\\_compressed-1.pdf](https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/PLAN-DE-TURISMO-SUCUA-2021_compressed-1.pdf)

**GÓMEZ ÁVILA, Anyi Bibiana, &. HOYOS ROJAS, Wendy Yuranny.** Evaluación de la calidad de un suelo sometido a diferentes usos. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [en línea]. Universidad de los Llanos, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Carrera de Ingeniería Agronómica. Villavicencio, Colombia. 2020. pp. 10-20. [Consulta: 29 mayo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/1629/EVALUACION%20DE%20LA%20CALIDAD%20DE%20UN%20SUELO%20SOMETIDO%20A%20DIFERENTES%20USOS>

20USOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

**HUNNEMEYER, Anne; et al.** *Análisis del desarrollo sostenible en centroamérica. indicadores para la agricultura y los recursos naturales*. San José, Costa Rica: IICA, 1997. ISBN 92-9039-334 3, pp. 24-25.

**JAMIOY OROZCO, Diego David.** Propuesta de indicadores de calidad edafológicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos oxisoles del piedemonte llanero colombiano. (Trabajo de titulación) (Posgrado). [en línea]. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Magister en Ciencias Agrarias. Palmira, Colombia. 2011. pp. 22-23. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: [http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/377/4/Muñoz\\_Zapata\\_Adriana\\_Patricia\\_Artículo\\_2011.pdf](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/377/4/Muñoz_Zapata_Adriana_Patricia_Artículo_2011.pdf).

**JIMÉNEZ, J; et al.** "La Macrofauna del Suelo: Un Recurso Natural Aprovechable pero Poco Conocido". *UFR Sciences* [en línea], 2003, (Colombia), pp. 1-17. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 0097-8418. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/55464>

**LALATTA, F.** *Fertilización de árboles frutales. Guías de agricultura y ganadería* [en línea]. España: CEAC, 1989. [Consulta: 25 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.abebooks.com/Fertilización-arboles-frutales-Guias-agricultura-ganaderia/20368554738/bd>.

**LÓPEZ, R.** *Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación* [en línea]. Mérida, Venezuela: CIDIAT, 2002. [Consulta: 25 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>.

**LUTERS, A. & SALAZAR, J.** "Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo". *USDA* [en línea], 1999, (Estados Unidos), pp. 9-16. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051284.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051284.pdf)

**MARTÍNEZ, E; et al.** "Carbono orgánico y propiedades del suelo". *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* [en línea], 2008, (Chile), (8), pp. 68-96. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 0717635X. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-27912008000100006](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006)

**MARTÍNEZ CARRERA, Karla Estefanía.** Evaluación de la Calidad del Suelo de la Finca Palmicultora las Palmeras, Cantón La Concordia. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Riobamba, Ecuador. 2018. pp. 13-14; 68-71. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10540/1/236T0399.pdf>

**MINAMBIENTE.** *Política para la Gestión Sostenible del Suelo* [en línea]. Bogotá, Colombia: MADS, 2016. [Consulta: 25 mayo 2022]. Disponible en: [http://www.andi.com.co/Uploads/Política\\_para\\_la\\_gestión\\_sostenible\\_del\\_suelo\\_FINAL.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Política_para_la_gestión_sostenible_del_suelo_FINAL.pdf).

**MOLINA, E.** "El análisis de suelos y su interpretación". *AMINOGROW* [en línea], 1978, (Costa Rica), pp. 69-88. [Consulta: 4 junio 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/22521>.

**MORENO, C.** "Métodos para medir la diversidad". *Ecuador es calidad* [en línea]. 2015, (Ecuador), (53), pp. 36-43. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 1098-6596. Disponible en: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12>.

**NAVARRO, Ginés; & NAVARRO, Simón.** *Química Agrícola: Química del Suelo y de los Nutrientes Esenciales para las Plantas*. Mundi-Prensa, 2013. ISBN 9788484766568, pp. 13-14.

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.** *Base referencial mundial del recurso suelo* [en línea]. Roma: IUSS Working Group WRB, 2015. [Consulta: 22 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre59.pdf>.

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAD PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.** *Estado mundial del recurso del suelo (EMRS)- Resumen Técnico* [en línea]. Roma: IUSS Working Group WRB, 2016. [Consulta: 22 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>.

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.** *Guía de buenas prácticas para la Gestion y uso sostenible de los suelos* [en línea]. Roma: IUSS Woeking Group WRB, 2018. [Consulta: 26 mayo 2022]. Disponible en:

<http://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>.

**PASHANASI, B.** "Estudio Cuantitativo De La Macrofauna Del Suelo En Diferentes Sistemas De Uso De La Tierra En La Amazonía Peruana". *Folia Amazónica* [en línea] 2006, (Perú), (12), pp. 75-78. [Consulta: 6 junio 2022]. ISSN 1018-5674. Disponible en: <http://revistas.iiap.org.pe/index.php/fofiaamazonica/article/view/126/189>.

**PORTA, Jaime.** *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente* [en línea]. Madrid: Mundi-Prensa, 2008a. [Consulta: 26 mayo 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/36555>.

**PORTA, Jaime.** *Introducción a la edafología: uso y protección del suelo* [en línea]. Madrid: Mundi-Prensa, 2008b. [Consulta: 26 mayo 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/35840>.

**PLA, I.** "Problemas de degradacion de suelos en el mundo: Causas y consecuencias". *Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo* [en línea]. 2006 (Ecuador), pp. 1-9. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <https://studylib.es/doc/3431337/problema-de-degradaci%C3%B3n-de-suelos-en-el-mundo--causas-y-c...>

**RENDÓN, S; et al.** "The Macroinvertebrates as Indicators of the Quality of Soil in Blackberry, Grass and Avocado Crops". *Rev. Fac. Nal. Agr* [en línea], 2011, (Colombia), (64), pp. 5793-5802. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 0304-2847 Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179922364005>

**RÍOS, M; et al.** "Estudio exploratorio de las propiedades físicas de suelos y su relación con los deslizamientos superficiales: Cuenca del río Maracay, estado Aragua-Venezuela". *Revista Geográfica Venezolana* [en línea], 2010, (Venezuela), (51), pp. 225-247. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 10121617. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347730385004>

**ROJAS, J.** "Densidad aparente". *INTA* [en línea], 2012, (Argentina), (1), pp. 3. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: [www.inta.gov.ar/saenzpe](http://www.inta.gov.ar/saenzpe).

**RUBIO, A.** "La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los Alcornocales". *CSIC* [en línea], 2010, (España), pp. 1-96. [Consulta: 6 junio 2022]. Disponible en: [https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La densidad aparente en suelos forestales .pdf](https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales.pdf).

**RUCKS, L; et al.** "Propiedades Físicas del Suelo". *Agronomía* [en línea], 2004, (Uruguay), (64), pp. 68. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 00147672. Disponible en: <https://www.doccity.com/es/propiedades-fisicas-del-suelo-1/4687085/>

**SILVA, S. & CORREA, F.** "Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica". *Semestre Económico* [en línea], (2009), (Colombia), (12), pp. 13-34. [Consulta: 30 mayo 2022]. ISSN 0120-6346. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2>.

**SOTELO, E; et al.** "History and Development of the Classification of Vertisols in the FAO System and Taxonomy". *Terra Latinoamericana* [en línea], 2008, (México), (26), pp. 325-332. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v26n4/v26n4a5.pdf>.

**VARGAS, D; et al.** "Manual De Evaluación De Suelos: Énfasis en memoria Edáfica, Materia Orgánica e Hidroedafología". *CMES* [en línea], 2020, (México), pp. 1-45. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/346452883\\_Manual\\_de\\_Evaluacion\\_de\\_Suelos\\_Enfasis\\_en\\_Memoria\\_Edafica\\_Materia\\_Organica\\_e\\_Hidroedafologia](https://www.researchgate.net/publication/346452883_Manual_de_Evaluacion_de_Suelos_Enfasis_en_Memoria_Edafica_Materia_Organica_e_Hidroedafologia)

**VARGAS, Y; et al.** *Agroforestería Sostenible Agroforestería Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana* [en línea]. (2). Ecuador: INIAP, 2016. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5444/1/Agroforester%C3%ADa%20sostenible%20en%20la%20Amazonia%20ecuatoriana.pdf>

**VIDAL, M; et al.** "Guía para el muestreo de suelos". *MAP* [en línea], 2014, (Perú), (1), pp. 9-26. [Consulta: 28 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

**VIVAS CHILLO, Cristian Alex.** Estudio de la Mesofauna Edáfica en la Microcuenca del Río Jubalyacu, Parroquia Achupallas, Cantón Alausí, Provincia de Chimborazo. (Trabajo de titulación) (Pregrado). [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Ingeniería Forestal. Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 24-25. [Consulta: 30 mayo 2022]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3952/1/33T0141%20.pdf>

**ZERBINO, M; et al.** "Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en

siembra directa y con pastoreo". *Agrociencia* [en línea], 2008, (Uruguay), (12), pp. 44-55. [Consulta 26 mayo 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/234117774\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_macrofauna\\_del\\_suelo\\_en\\_sistemas\\_de\\_produccion\\_en\\_siembra\\_directa\\_y\\_con\\_pastoreo](https://www.researchgate.net/publication/234117774_Evaluacion_de_la_macrofauna_del_suelo_en_sistemas_de_produccion_en_siembra_directa_y_con_pastoreo)



## ANEXOS

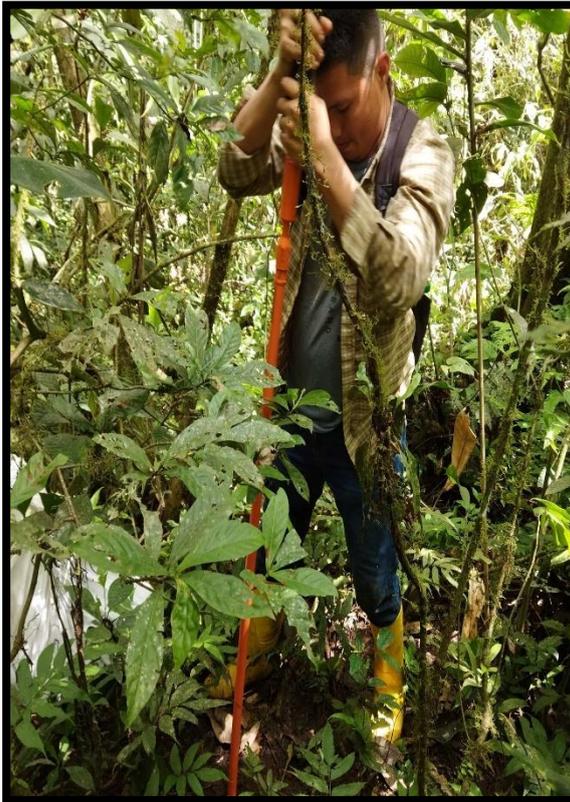
### ANEXO A: VISITA AL PARQUE BOTÁNICO DEL CANTÓN SUCÚA



### ANEXO B: MATERIALES PARA EL MUESTREO DE SUELOS



ANEXO C: TOMA DE LA MUESTRA DE SUELOS



**ANEXO D: RECOLECCIÓN DE LA MACROFAUNA EDÁFICA**

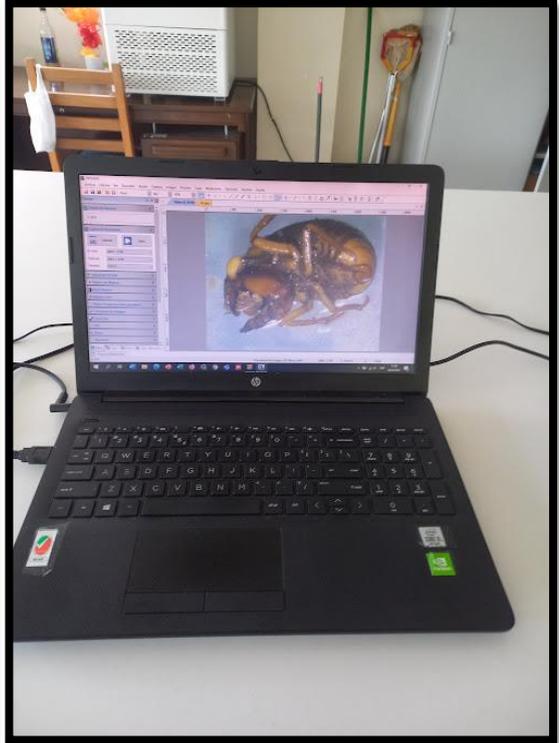


**ANEXO E: SECADO DE LAS MUESTRAS DE SUELO**



## ANEXO F: ANÁLISIS DEL SUELO EN EL LABORATORIO







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: 17 / 01 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Erik Javier Riera Guachichullca
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0076-DBRA-UPT-2023